

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REGULACIÓN PARA EL  
PROCESO DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN DE UNA CALDERA INDUSTRIAL**

**LUIS MARIO ECHEVERRI DIAZ**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA INGENIERIA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REGULACIÓN PARA EL  
PROCESO DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN DE UNA CALDERA INDUSTRIAL**

**LUIS MARIO ECHEVERRI DIAZ**

**Pasantía para optar al título de Ingeniero Electrónico**

**Director**

**HUMBERTO GIRONZA LOZANO**

**Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA**

**PROGRAMA INGENIERIA ELECTRONICA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2006**

**Nota de aceptación:**

Aprobado por el comité de grado de grado  
en cumplimiento de los requisitos exigidos  
por la Universidad Autónoma de Occidente  
para optar al título de Ingeniero Electrónico

Ing. BERNARDO SABOGAL

---

Ing. ANDRES FELIPE NAVAS

---

Santiago de Cali, 4 de agosto de 2006

A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

A mis papás, por estar siempre allí y confiar en que todo esto podía ser posible.

A mi hermano Alonso, porque su luz y su verde mar océano siempre han sido isla salvadora en mis naufragios.

A mi novia Angela, por ser parte de esta utopía posible como ella y su sonrisa.

***“Hay dos formas de ver la vida: una es creer que no existen milagros, la otra es creer que todo es un milagro”***

ALBERT EISTEIN

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>0 INTRODUCCION</b>	<b>12</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>10</b>
<b>2 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>12</b>
2.1 BENEFICIOS CUANTIFICABLES	12
2.2 BENEFICIOS NO CUANTIFICABLES	18
<b>3 DETERMINACION DE OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
3.1 OBJETIVOS GENERALES	23
3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
<b>4 MARCO TEORICO</b>	<b>24</b>
4.1 ALIMENTADOR DE CARBÓN (STOKER)	24
4.2 SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS	27
4.2.1 Sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)	27
4.3 SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN	28
4.3.1 Plataforma de Control	25
<b>5 ANTECEDENTES</b>	<b>30</b>
<b>6 DESARROLLO CONCEPTUAL</b>	<b>32</b>
6.1 CONCEPTOS GENERADOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA	33
6.1.1 Actuador Individual	33
6.1.2 Controlador Remoto Inteligente	33
6.2CONCEPTO GENERADO PARA EL ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO	34
6.2.1 Accionar la Bandeja del Stocker	34

<b>7</b>	<b>DISEÑO DETALLADO</b>	<b>38</b>
7.1	MODULO DE CONTROL	36
7.1.1	Clases de Control	36
7.2	CONFIGURACION DEL PROYECTO	40
7.2.1	Bloque del Modulo de Mando del Procesador	40
7.2.2	Control del Ambiente de Ejecución	40
7.3	BLOQUES UTILIZADOS EN LA CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO LÓGICO	42
7.3.1	Bloque de Entrada Análoga	42
7.3.2	Bloque de Salida Análoga	42
7.3.3	Bloque de Adquisición de Datos	43
7.3.4	Bloque PID	44
7.3.5	Bloque PIDFeedforward	44
7.3.6	Bolque OVERDSEL	46
7.3.7	Bloque de Control Selectivo	48
7.4	SISTEMA SUPERVISOR	49
7.4.1	Tecnologia HMIWeb	50
7.4.2	Gerencia de Alarmas / Eventos	53
7.4.3	Secuencia de Operación	55
7.5	ESTRATEGIA DE CONTROL	61
7.5.1	Control de Presion de Vapor	58
7.5.2	Control de Presion de Hogar	59
7.5.3	Control de Flujo de Vapor	59
7.5.4	Control de Temperatura de Vapor	59
7.5.5	Control de Oxigeno (o2)	59
7.5.6	Funcionamiento de laEstrategia de Control	60
7.6	MODULO MECÁNICO	65
7.6.1	Sistema de Accionamiento	65
7.6.2	Transmisión del Reductor de Velocidades	68
7.6.3	Regulacion de Velocidad	70

<b>8 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PRUEBA</b>	<b>73</b>
<b>9 CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>80</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del sistema de regulación de carbón	14
Figura 2. Volumen desplazado por la bandeja por punto porcentual en cada ciclo	16
Figura 3. Detalle de montaje de la bandeja, Sistema de regulación, stoker	20
Figura 4. Alimentador de carbón, Detalle de la transmisión	25
Figura 5. Alimentación de carbón, Detalle del regulador	26
Figura 5a. Alimentación de carbón, Detalle del regulador	27
Figura 6. Sistema actual caldera 6	31
Figura 7. Esquema del concepto - Actuador individual	33
Figura 8. Esquema del concepto - Controlador remoto inteligente	34
Figura 9. Transmisión sistema de regulación Alimentador de carbón	36
Figura 10. Transmisión sistema de regulación alimentador de carbón	37
Figura 11. Esquema de control PI	40
Figura 12. Esquema de control de tipo feedforward	42
Figura 13. Configuración del control del constructor (Control Builder)	44
Figura 14. Diagrama esquemático de la entrada análoga	45
Figura 15. Diagrama esquemático de la salida análoga	46
Figura 16. Bloque de adquisición de datos	46
Figura 17. Diagrama funcional del bloque de adquisición de datos (DACA)	47
Figura 18. Bloque PID	48
Figura 19. Bloque Feedforward	48
Figura 20. Diagrama funcional del bloque PID por adelanto	49
Figura 21. Bloque OVRDSEL	49
Figura 22. Configuración usando el bloque OVRDSEL	50
Figura 23. Diagrama esquemático del control selectivo	51
Figura 24. Apreciación simplificada de la arquitectura Experion PKS	52
Figura 25. Tecnología de HMIWeb de Honeywell en el trabajo	55



Figura 26. Resumen de alarmas	57
Figura 27. Pantalla principal	59
Figura 28. Interfaz grafica	60
Figura 29. Diagrama del esquema de control	67
Figura 30. Partes de un motorreductor	69
Figura 31. Partes fundamentales del motor	69
Figura 32. Parte externa del motor	71
Figura 33. Dimensiones del motor-reductor	72
Figura 34. Parte externa del motorreductor	72
Figura 35. Aspecto externo del variador de velocidad	74
Figura 36. Propuesta de montaje del motorreductor	75

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1. Paper</b>	<b>76</b>

## **RESUMEN**

El ingenio manuelita desde un tiempo atrás ha perseguido la idea de disponer de un sistema de control para los alimentadores de carbón que accione de forma individual el eje impulsor y la bandeja de los stokers, teniendo un control automático sobre esta última; con el fin de que el operario del cuarto de control sea el único encargado de regular la cantidad de combustible (carbón) que se le suministra a la caldera, eliminando la posibilidad de que el parrillero pueda regular de forma manual la adición de combustible, ocasionando una anomalía entre el sistema mecánico y el sistema EXPERION PKS.

Con la realización de este proyecto se pretende aportar una solución concreta al control de los alimentadores de carbón, eliminando la dependencia entre el operario del cuarto de control y el parrillero, además de optimizar el proceso de combustión obteniendo una mezcla apropiada de aire y combustible en proporciones exactas para que se consuma plenamente. Para ello se aplicaran varias técnicas de control para regular la adición de combustible, manteniendo en condiciones seguras la operación y/o funcionamiento de la caldera.

El trabajo se basa en el diseño de un sistema de control master para regular la cantidad de combustible que se le suministra a la caldera, ejerciendo un control a un motor-reductor que iría acoplado al eje de transmisión de los stokers, para obtener una visión más realista de su comportamiento, se realizaron pruebas en un alimentador de carbón. Con los resultados obtenidos se concluyó que el diseño es apto para la regulación de la adición de combustible.

## **0. INTRODUCCIÓN**

La explotación y el uso de la energía se han convertido en los últimos años en un tema prioritario en el mundo, debido al agotamiento de los recursos naturales no renovables, los impactos ambientales y los altos costos generados a su consumo. La situación actual de alto nivel de competitividad por precio y calidad del producto a la que están sometidas las empresas, las obliga a estudiar posibilidades de ahorro dentro de sus costos de producción en este caso se busca reducir los costos generados por el uso de carbón en los procesos de generación de vapor.

Buena parte de las empresas comerciales e industriales en Colombia utilizan la energía térmica del calor a través de vapor. La industria azucarera es una de ellas, y pretende estar a la vanguardia en cuanto a sistemas de control de procesos se refiere; para lograr ser más competitivos en el mercado de producción de azúcar. Para la generación de vapor, los ingenios azucareros utilizan calderas, que son recipientes de forma cilíndrica generalmente, que trabajan a presión, diseñados para transferir calor proveniente de la combustión, a un fluido que generalmente es agua, por su alto calor latente de vaporización hace que la fase gaseosa de este fluido pueda almacenar altas cantidades de energía térmica. Estas calderas para su funcionamiento usan el carbón como combustible, que se transforma en calor para el calentamiento de un fluido.

El ahorro de carbón es posible optimizando el sistema de los alimentadores de carbón actual, optimizando la instrumentación y automatización del proceso con el avance tecnológico requerido para mantenerse competitivo tanto en el mercado nacional como internacional.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las estaciones de control a cargo de las Calderas Industriales de la región, poseen sistemas de control de procesos, los cuales son los encargados de vigilar los procesos de la planta a través de redes de computadoras interconectadas que permiten mantener las condiciones necesarias para que no ocurra ninguna perturbación en los procesos de la misma. El sistema de control es responsable de tareas tales como monitorización y vigilancia para el cual existe un número de estaciones de trabajo (GUS, HMI) conectadas a través de una o más redes de área local, las cuales proveen acceso a un grupo de servicios distribuidos<sup>1</sup>. La arquitectura física del sistema de control consiste en una serie de computadores, equipos electrónicos, sensores y actuadores interconectados. Uno de los procesos que monitorea y vigila es el proceso de alimentación de carbón, el cual regula la cantidad de carbón con que se alimenta la Caldera. El porcentaje de Carbón es traducido por un Sistema de Control Distribuido (DCS) a un valor análogo que es enviado a un servo-motor neumático, y este lo convierte en un movimiento mecánico angular. El movimiento angular tiene efecto sobre un extremo del eje de control común a todos los alimentadores, y debido a la longitud del mismo, la rotación no es aplicada uniformemente sobre todos los puntos del eje, y genera un momento de torsión diferente sobre el brazo de control de los reguladores, generando una distribución uniforme del combustible; además de esto los alimentadores de carbón poseen una platina de desplazamiento que puede ser graduado manualmente por el personal a cargo de las parrillas para aumentar o disminuir el desplazamiento de la platina sin que el operario en planta

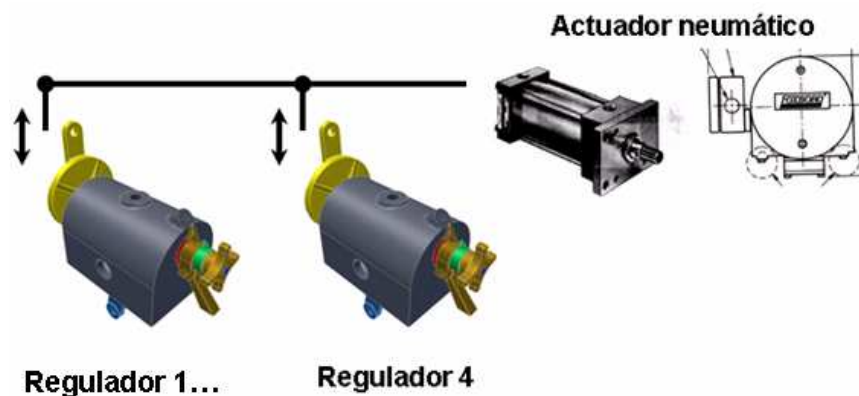
---

<sup>1</sup> Sistemas scada [en línea]. [s.l.]. Autómatas.org, 2006. [consultado 03 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>

se de cuenta, aumentado el error en medición entre el valor del sistema y el de campo, lo que hace que el sistema implementado no sea del todo confiable. Esto conlleva a que se haga un permanente chequeo del estado de la parrilla, y una verificación constante entre el dato de la pantalla y el dato real de campo, generando inconvenientes y/o problemas a los operarios de la Caldera, a los parrilleros, supervisores y también grandes pérdidas económicas al ingenio azucarero.

Si no hay una correspondencia entre el sistema EXPERION PKS y el sistema mecánico, se origina un error en el registro histórico del consumo de Carbón, ya que este queda almacenado en la base de datos que se visualiza en pantalla; y el consumo de Carbón no concuerda con lo que realmente se ha alimentado a la Caldera.

Figura 1. Esquema del sistema de regulación de carbón.



Por lo antes mencionado, se requiere diseñar un Sistema Automático, efectivo, capaz de controlar cada uno de los alimentadores de carbón con que se alimenta la Caldera, además de monitorear y controlar en tiempo real, y optimizar la adición de carbón a la caldera.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

El estudio de este proyecto de grado se justifica en la necesidad creciente de generar vapor de bajo costo. Este tipo de reducción beneficiara a la industria azucarera desde los siguientes puntos de vista: Uno de ellos será lograr beneficios cuantificables que se obtendrán gracias al desarrollo del proyecto, dentro de este punto se busca minimizar los costos del proceso de alimentación de calderas reduciendo los niveles de desperdicio, que conlleva a perdidas y que son ocasionadas por la mala eficiencia del proceso. El segundo punto que se analizará es el de los beneficios no cuantificables que podría brindar la ejecución de este proyecto. Aquí se analizaran los temas relacionados con la efectividad, confiabilidad y seguridad en los procesos de operación y supervisión de las Calderas; con la automatización del proceso se podrá chequear en tiempo real la operación de los equipos, pudiendo diagnosticar y corregir fallas desde el cuarto de control, brindando mayor calidad y competitibilidad para la compañía.

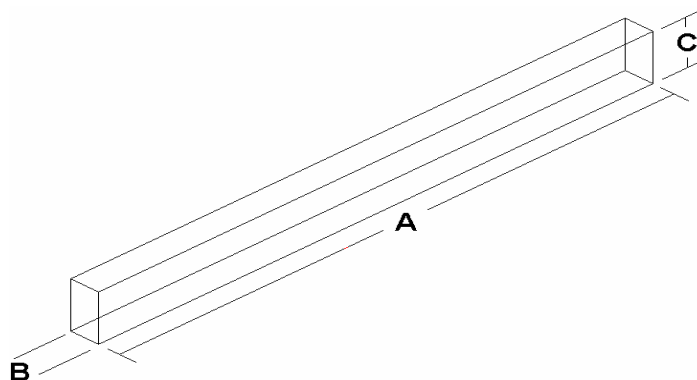
### **2.1 BENEFICIOS CUANTIFICABLES**

El proceso de alimentación de combustible de las calderas, debe mantener ciertos niveles de efectividad igual que los demás procesos de la compañía, entendido efectividad como la suma de la eficiencia con la eficacia. En el caso de la Caldera N°6, la entrada esta conformada por un conjunto de elementos: el aire, el bagazo y el carbón. Como el carbón hace parte del combustible de la caldera, un uso inadecuado o ineficiente de el, afecta directa y considerablemente la efectividad de la Caldera. La salida esta relacionada directamente con la producción de vapor bajo ciertas características

El problema de la adición de combustible (carbón) se puede presentar por exceso o por no entregar el carbón necesario para realizar una buena combustión,; si se le suministra mas carbón del necesario, esta masa de combustible no será utilizada en el proceso de combustión, produciendo inquemados (porcentaje no combustionado de carbón) el cual saldrá expulsada a través del sistema de evacuación de la caldera sin haber sido utilizada en su totalidad,); en caso contrario, el sistema de control se ve forzado a buscar otros medios para satisfacer la demanda de vapor y así mantener el normal funcionamiento

Para tener mayor claridad en este aspecto, se realizara un análisis del volumen de carbón desplazado por punto porcentual en cada ciclo del stoker\*. Ver figura 2

Figura 2. Volumen desplazado por la bandeja por punto porcentual en cada ciclo



El volumen efectivo máximo que puede llegar a alojar la bandeja móvil en un ciclo con un **set point** de 100% esta determinado por la geometría de dicho mecanismo. Las dimensiones que generan este volumen son:

---

\* Ciclo es el movimiento de vaivén que realiza la bandeja móvil como consecuencia de su acople al motor de propulsión, Ver figura 2. Presentándose así una relación directa entre la velocidad angular del motor, el diámetro de las poleas y el mecanismo interno del **stoker**.



$$A = 20 \text{ in (50.8 cm)} \quad (2.1.1)$$

$$B = 1.25 \text{ in (3.175 cm)} \quad (2.1.2)$$

$$C = 2 \text{ in (5.08 cm)} \quad (2.1.3)$$

Pero este análisis económico se desarrollara solo para un punto porcentual, para lo cual se toma una centésima de la carrera de desplazamiento en la bandeja móvil, esto es 0.01 in o 0.0254 cm.

Aplicando la ecuación de volumen para este tipo de figuras se obtiene

$$V = A * B * C \quad (2.1.4)$$

$$V = 50.8\text{cm} * 5.08\text{cm} * 0.03175 \text{ cm} \quad (2.1.5)$$

$$V = 8.19 \text{ cm}^3 \quad (2.1.6)$$

Ahora se debe hallar la cantidad de masa que se puede alojar en un volumen como este, para esto se usa la siguiente ecuación:

$$m = \rho * V$$

Según datos suministrados por personal autorizado de la empresa *PROPAL S.A.* la densidad promedio del carbón entregado por ellos a los ingenios azucareros es aproximadamente de  $0.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

Reemplazando

$$0.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 8.19 \text{ cm}^3 = 7.37 \text{ g}$$

Deduciendo así que por cada cambio de una unidad en el **set point** se modifica la masa de alimentación de carbón por ciclo en 7.37g

Para determinar el numero de ciclos que realiza por minuto un **stoker**, se realizo un seguimiento a las bandejas móviles de cada uno de estos, observando que las frecuencias eran diferentes, por tanto se opto por tomar como base el promedio de estos cuatro datos, así en los cálculos se uso 180 ciclos / min.

Con estos datos y una simple operación, se puede estimar cuanto carbón se desplaza en diferentes periodos de tiempo

Estimado para un minuto

$$7.37 \frac{g}{ciclo} * \frac{180 ciclos}{1 min} = 1327.35 \frac{g}{min}$$

Estimado para una hora

$$1327.35 \frac{g}{min} * \frac{60 min}{1 hora} = 79641.13 \frac{g}{hora}$$

Estimado para un día

$$79641.13 \frac{g}{hora} * \frac{24 horas}{1 dia} = 1911387.14 \frac{g}{dia}$$

Estimado para un año laboral de 300 días

$$1911387.14 \frac{g}{dia} * \frac{300 dia}{1 año} = 573416143.49 \frac{g}{año}$$

Estimado en Kg. por año laboral de 300 días

$$573416143.49 \frac{g}{año} * 1 \frac{Kg}{1000g} = 573416.14 \frac{Kg}{año}$$

Tomando como base el precio del kilo de carbón\* a la fecha de la realización de este documento, se realiza una operación matemática simple para calcular el costo aproximado de esta desviación proyectada a un año laboral de 300 días.

$$573416.14 \frac{Kg}{año} * 80 \frac{\$}{Kg} = 45873291.47 \frac{\$}{año}$$

A este valor hallado de 45873291.479904 pesos se le debe multiplicar por cuatro que es la cantidad de alimentadores de carbón con que están equipadas las calderas.

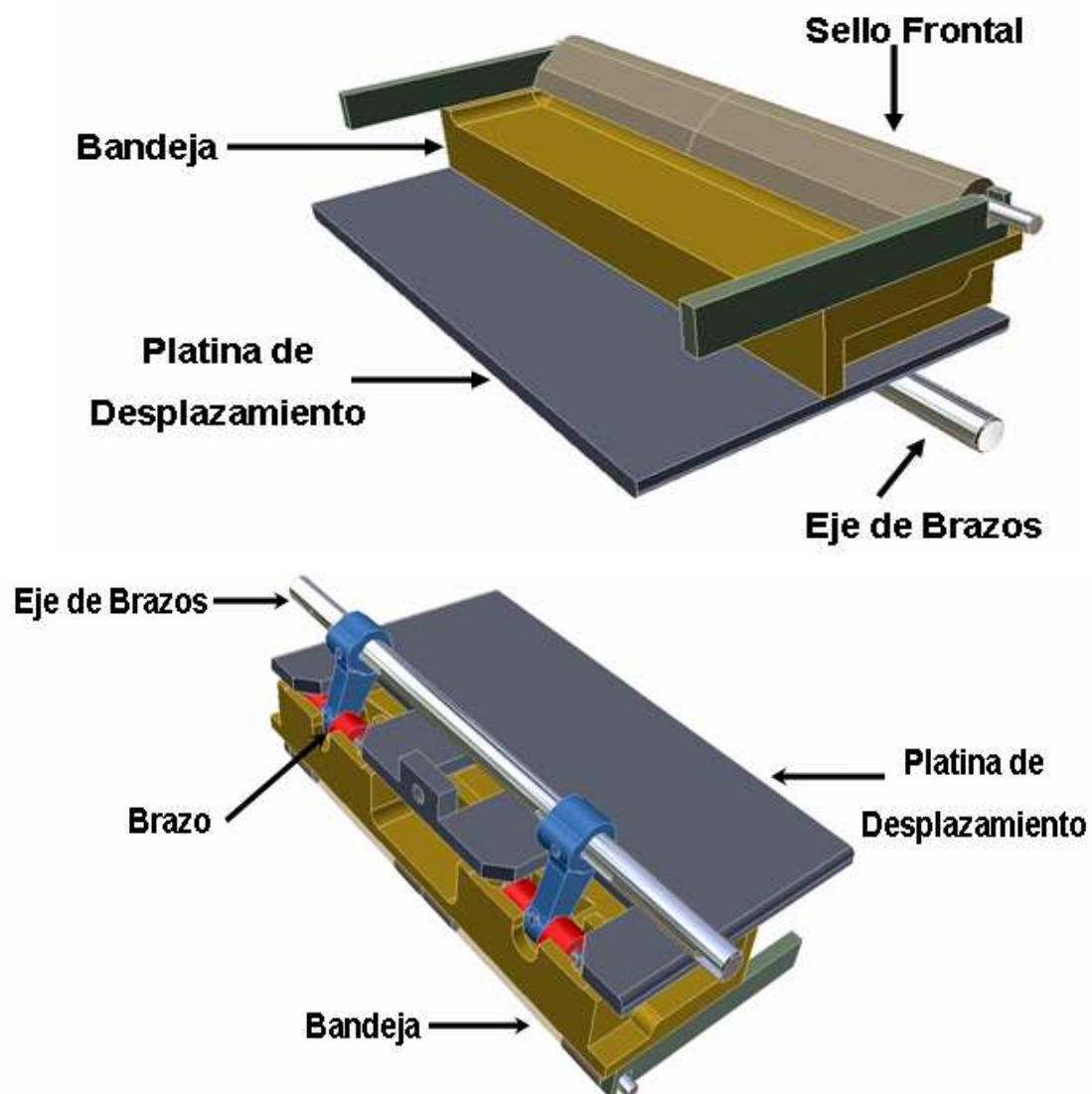
$$45873291.47 \frac{\$}{año} * 4 \text{ alimentadores} = 183493165.91 \frac{\$}{año}$$

Concluyendo así que este es el costo por año del carbón innecesario que se le entrega a la caldera por deficiencia en el sistema de regulación en los alimentadores de carbón.

---

\* El precio del carbón está sujeto al cambio del dólar

Figura 3. Detalle de montaje de la bandeja, Sistema de regulación, stoker



Fuente: INGENIO MANUELITA S.A. Alimentador de carbón. Palmira, 2006. p. 15.

## 2.2 BENEFICIOS NO CUANTIFICABLES

- **Sistema de Control:** Mejorando el sistema de control, y obteniendo información en tiempo real, se obtiene una buena combustión; para esto se hace necesario cumplir con ciertos requisitos, entre ellos esta la relación aire / combustible; el punto ideal de operación es de  $9.7 \frac{Kg_{Aire}}{Kg_{Carbón}}$ , la exactitud correcta de la mezcla "aire-combustible", es muy importante para que el combustible arda completamente. La relación que tiene el carbón con el aire es la siguiente:
  - ❖ Si el índice de Oxígeno es superior al 6 % se debe reducir la entrada de aire
  - ❖ Si el índice de CO es superior 350 ppm se debe aumentar la entrada de aire
  - ❖ Si el exceso de aire supera el 30 % se debe reducir la entrada de aire.

Si se logra una mejor adición de combustible (Carbón) se lograra una mejora en la estabilidad en el sistema de control de combustión de la Caldera.

- **Plataforma de Control:** El sistema *EXPERION PKS*, cuenta con una adquisición de datos que lleva un registro de la mayoría de las variables de las Calderas; *Referencia de Carbón* es el nombre que recibe el punto dentro del histórico que corresponde al *Set Point* del *Stoker*. A causa de los problemas que presenta el sistema actual, no hay correspondencia entre el valor campo y el de sistema, lo que provoca un error en los datos almacenados en la base de datos, además de no poder cuadrar bien los balances con respecto al consumo del carbón; con la realización de este proyecto se pretende eliminar este de error, permitiendo un seguimiento

real para los balances del departamento de calderas. Conociéndose la cantidad de carbón con que se dosifica la caldera a determinada demanda de vapor de los molinos, planta eléctrica, clarificación, evaporación, y planta de alcohol carburante

- **Confiabilidad en la alimentación masica:** Como el sistema de alimentación no tiene realimentación de su estado, se dice que es un sistema en lazo abierto. Para los operarios de la Caldera se genera una gran incertidumbre acerca del valor que visualizan en pantalla, se entra en duda si este dato es real o no, si valor en campo es el mismo que el del sistema, por lo tanto, deben confirmar constantemente con los parrilleros de la Caldera el estado real del regulador de cada *Stoker*; si se avanza en este aspecto, los operarios tendrán mayor confianza en el dato visualizado en pantalla, lo cual daría cierto nivel de autonomía a los encargados en el cuarto de control, así se eliminaría la dependencia en ese sentido entre el operario y el parrillero.

### **3 DETERMINACION DE OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Diseñar una estrategia de control, con el fin de lograr un control regulatorio óptimo sobre los alimentadores de carbón.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Lograr una adición de carbón optima en la caldera.
- Diseñar un sistema de control que cumpla con las exigencias propias del ingenio Manuelita S.A.
- Diseñar un HMI para el control de los alimentadores de carbón.
- Aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas de Electrónica, Automatización y Control.

## **4 MARCO TEORICO**

### **4.1 ALIMENTADOR DE CARBÓN (STOKER)**

El alimentador de carbón esta diseñado para alimentar automática y continuamente una gran variedad de carbones incluyendo la lignita y los sub-bituminosos, en unidades con parrilla estacionaria, volcable, viajera y oscilante<sup>2</sup>. El flujo de carbón puede ser incrementado o disminuido automáticamente de acuerdo con la demanda pudiéndose también ajustar manualmente durante la operación, permitiendo una distribución uniforme del combustible sobre la parrilla y una combustión total y eficiente.

El alimentador de carbón consta principalmente de una carcasa hecha en fundición de hierro o acero, y esta protegida en las zonas de desgaste y refrigerada con agua, la cual contiene un mecanismo que transforma el movimiento rotatorio en oscilante para transmitirlo al impulsador reciprocante mediante un eje con brazos dotados de ruedas de empuje, una placa de desplazamiento graduable para regular la distancia de lanzamiento del carbón, un eje distribuidor con paletas distribuidoras hechas de fundición de hierro resistente al desgaste para el buen esparcimiento del carbón lateral y longitudinalmente mediante el posicionamiento de las paletas, una tapa de fundición de hierro atornillada a la carcasa para dar acceso a las paletas distribuidoras, una tapa exterior de aluminio de fácil remoción para inspeccionar y graduar la platina de desplazamiento, una tolva con compuerta manualmente ajustable para controlar la descarga del carbón, un mecanismo de control operado automática o manualmente para ajustar la rata de alimentación del combustible montado sobre

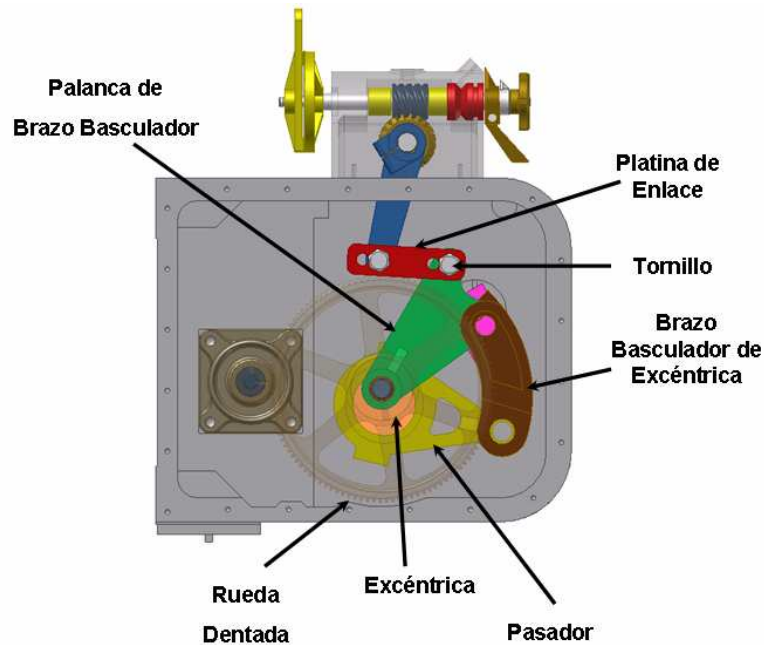
---

<sup>2</sup> Ingenio Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira. 2006. p. 12.



la carcasa y un sistema de accionamiento de velocidad variable para ajuste manual de las revoluciones del eje distribuidor, Véase Figura 4.

Figura 4. Alimentador de carbón, Detalle de la transmisión



Fuente: Ingenio Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira, 2006. p. 14.

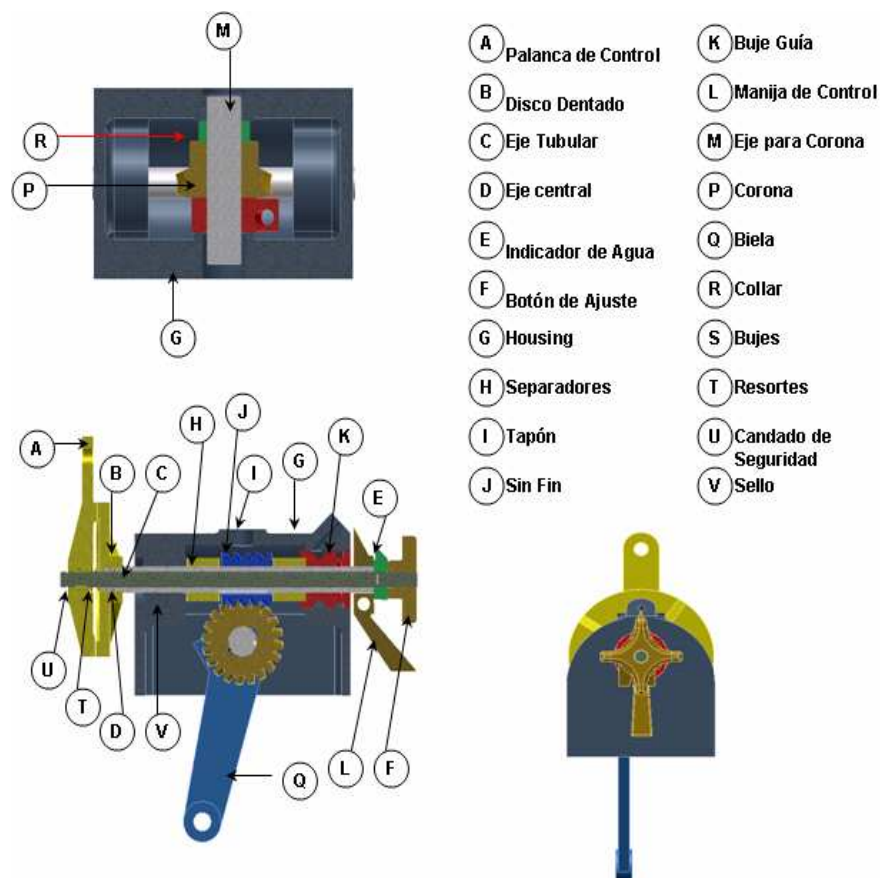
El carbón se carga en la tolva de entrada y pasa a la platina de desplazamiento graduable a través de la abertura existente entre la compuerta y un elemento impulsor el cual se mueve hacia delante y hacia atrás por medio del eje oscilante que a su vez es accionado por el eje distribuidor utilizando un par de engranajes, por lo cual la velocidad del movimiento del impulsor depende de la velocidad de la rotación del eje distribuidor.

El carbón es empujado sobre la platina de desplazamiento por el impulsador hasta caer sobre las paletas distribuidoras montadas sobre el eje distribuidor que esta girando, lanzando así el carbón sobre la parrilla a través de la abertura de la pared frontal del hogar.

El eje distribuidor es accionado por medio de un eje común utilizando poleas y embrague independiente para cada alimentador o por motores y poleas individuales.

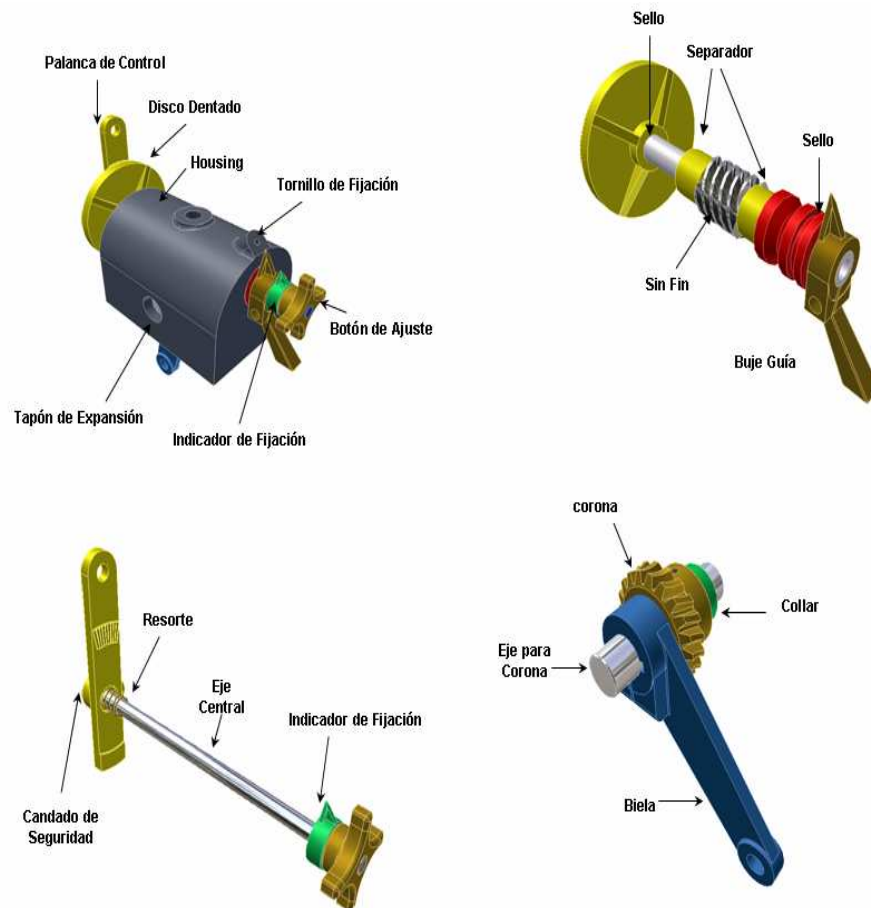
El desplazamiento del impulsor puede determinarse ajustando manualmente el control de alimentador de acuerdo al consumo necesario y las variaciones de este desplazamiento se efectúan automáticamente por medio del eje de control automático en respuesta a las variaciones de carga de la caldera, Véase Figura 5 y 5a.

Figura 5. Alimentación de carbón, Detalle del regulador



Fuente: Ingenio Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira, 2006. p. 17.

Figura 5a. Alimentación de carbón, Detalle del regulador



Fuente: Ingenio Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira, 2006. p. 18.

## 4.2 SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS

4.2.1 Sistemas scada (supervisión, control y adquisición de datos). Un SCADA, es una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

### **4.3 SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN**

4.3.1 Plataforma de control. El sistema Experion Process Knowledge System (PKS), es basado en una arquitectura abierta de colaboración, con una seguridad integrada en el sistema y servicios asociados de aplicaciones, es la primera línea de defensa para el soporte de una política de seguridad corporativa y la protección de los intereses comerciales y humanos de la empresa<sup>3</sup>.

En el corazón del sistema se encuentra una Distributed System Architecture (DSA), que facilita las ampliaciones y permite que sistemas geográficamente dispersos se comporten como uno solo, compartiendo datos en tiempo real sin duplicarlos. Experion PKS proporciona "mejores practicas" en un amplio conjunto de áreas, como redes, nodos de PC y detección de virus. El sistema utiliza un modelo de seguridad de "bloqueo" para proteger nodos del sistema abiertos. Esta técnica protege archivos, directorios, claves de registro y derechos de usuarios, para evitar errores inadvertidos (como que un operador borre una clave del sistema o un archivo de una aplicación) y prohibir que usuarios mal intencionados no autorizados accedan a sistemas informáticos y datos. También crea diferentes políticas de usuario para distintos tipos de empleados (por ejemplo, un operador tendrá funciones de escritorio notablemente distintas que un ingeniero o administrador).

---

<sup>3</sup> Experion PKS [en línea]. [s.l.]: Honeywell. [consultado 06 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://hpsweb.honeywell.com/Cultures/en-US/Products/Systems/ExperionPKS/default.htm>

Además, el controlador híbrido de *EXPERION PKS* utiliza un formato de hardware común para las configuraciones del controlador y los *rack I/O*. Los *racks* comunes, la fuente de alimentación y las tarjetas de comunicación son empleados a través de todo el sistema *EXPERION PKS*. Por ejemplo, el mismo *rack* y fuente de alimentación puede albergar:

- **Modulo procesador de control (CPM)**, C100 (no redundante) o C200 (redundante), los cuales hacen control lógico, continuo, de motores y aplicaciones secuenciales.
- **Modulo I/O:** (como local de un procesador o como I/O remoto), provee los terminales y procesamiento de alimentación para aceptar señales de entrada desde transmisores, termocuplas, etc. y envía señales de salida a válvulas, motores, etc. Una gran variedad de módulos I/O están disponibles para entrada / salida analógica y entrada / salida digital. *EXPIRIONPKS* también ofrece módulos de interfaz serial y entrada de pulsos.
- **Modulo de Interfaz ControlNet (CNI)**, enlaza el controlador con los módulos I/O (mas de 8) a través de la red I/O y/o otro sistema de controladores y redes de campo vía ControlNet.
- **Modulo de redundancia (RM)** con un montaje de controlador provee un backup automático para el controlador primario

## **5 ANTECEDENTES**

Hace años la instalación de instrumentos de medición y aparatos de control en el proceso de generación de vapor era opcional, las capacidades de evaporación medianas y la condiciones de operación moderadas en los fluidos manejados. Las tolerancias en variaciones de las condiciones del vapor eran amplias y satisfechas por medios de control manuales, y desde luego los costos adicionales en la producción de vapor debidos a diferencias en la combustión en el horno, inevitables, por la imposibilidad del operador para atender simultáneamente todas en las diferentes condiciones y parámetros a controlar.

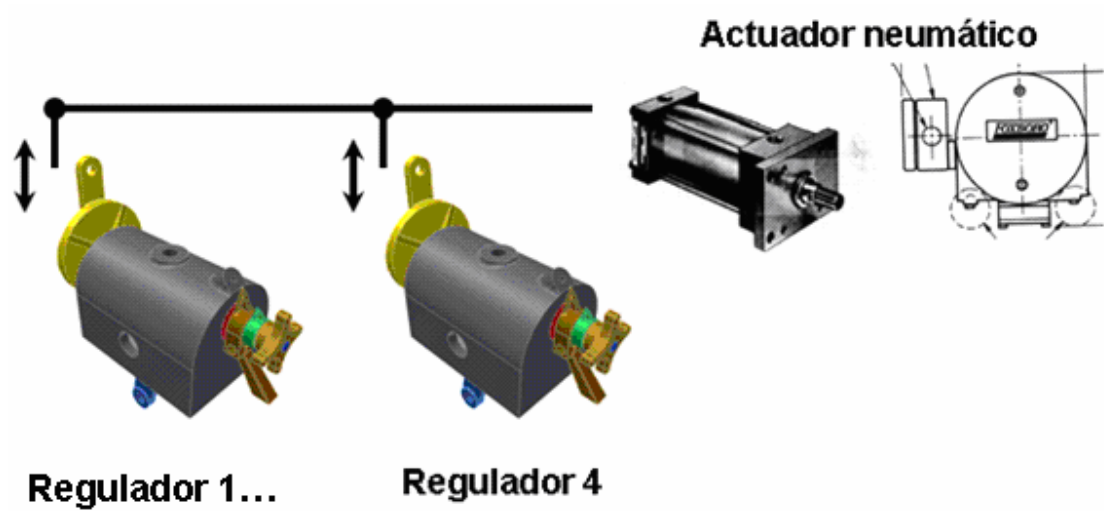
El desarrollo tecnológico industrial ha traído la necesidad de mayores capacidades de evaporación, condiciones de operación más severas y el empleo de materiales capaces de trabajar a estas nuevas condiciones requeridas.

La investigación en ese ultimo punto ha satisfecho las dos primeras necesidades y ha hecho posible el diseño de unidades de alta capacidad para operar a presiones y temperaturas elevadas, haciendo palpables no solo las ventajas de la instrumentación y el control automático sino la necesidad absoluta de su instalación, indispensable para un control de procesos adecuado y una operación mas económica del generador

La mayoría de ingenios azucareros del valle del cauca poseen calderas acuotubulares, las cuales se pueden definir como un equipo que, dentro de sus capacidades genera y entrega vapor en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por el usuario final, en forma continua y se ven afectados por el problema antes mencionado, que es la adición de combustible (carbón) en las calderas. El ingenio Manuelita S.A, dispone de una Caldera (en este caso la caldera N°6) que esta equipada con 4 Alimentadores de Carbón, los cuales son

manipulados con un solo actuador neumático (pistón) a través de un convertidor IP, este hacia rotar un eje común para los alimentadores, que mediante una palanca acoplada generaba cambios en el regulador de cada alimentador.

Figura 6. Sistema actual caldera 6



## 6 DESARROLLO CONCEPTUAL

Para la fase de generación, selección y prueba de conceptos se tomo como base el método estructurado de varias etapas expuesto por Juan José Miranda en su libro *gestión de proyectos*.

Los criterios de diseño y selección de conceptos se basaron en un diagnostico de la situación actual del objeto de estudio, con el fin de determinar las necesidades del Ingenio Manuelita S.A en esta área.

Dicho diagnostico se realizó haciendo investigaciones pertinentes y recolectando datos a través de encuestas, entrevistas y observaciones, al administrador del sistema *EXPERION PKS*, a los supervisores de las calderas, a los operarios del sistema *EXPERION PKS* y a los barrilleros; que permitan evaluar las necesidades de la empresa. Los resultados de estas encuestas determinaron que el dispositivo debería cumplir las siguientes premisas.

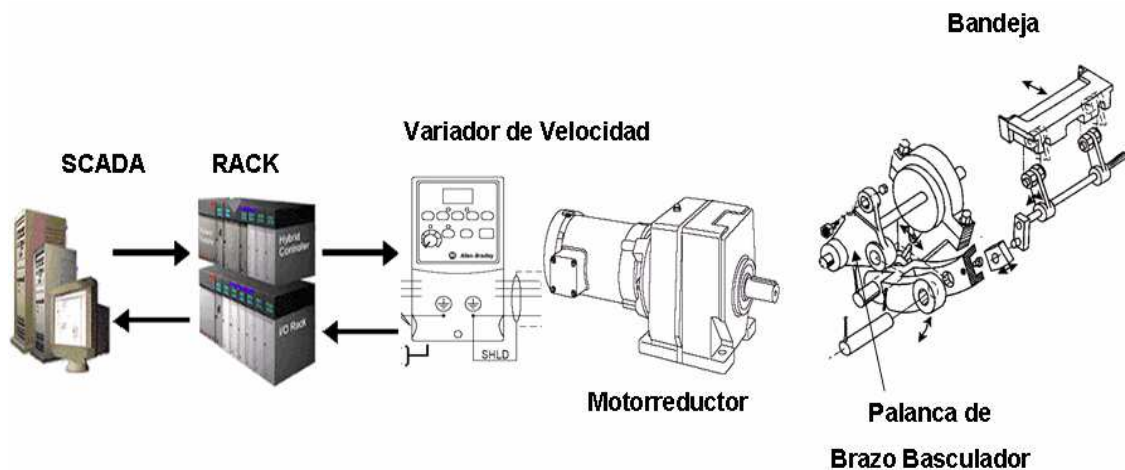
- Compatibilidad con el sistema existente
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de uso
- Brindar información útil
- Precisión de la dosificación
- Simplicidad del sistema

Los conceptos presentados a continuación son el resultado de un esfuerzo conjunto entre, mis ideas y conocimientos, y el personal relacionado con la generación de energía del ingenio.





Figura 8. Esquema del concepto - Controlador remoto inteligente



## 6.2 CONCEPTO GENERADO PARA EL ACCIONAMIENTO DEL MECANISMO

6.2.1 Accionar la bandeja del stocker. Esta idea de accionar la platina de desplazamiento de los stokers, consiste en acoplar un motor-reductor al eje del brazo basculador de los **STOKER**. Este motor-reductor permitiría tener el mismo desplazamiento de la bandeja, pero a diferentes velocidades, según las necesidades de la combustión. A través del sistema SCADA se hará el control de los alimentadores. Asimismo se independizaran los movimientos, lo quiere decir es que utilizara un motor para mover el impulsor del eje distribuidor y otro para mover la bandeja.

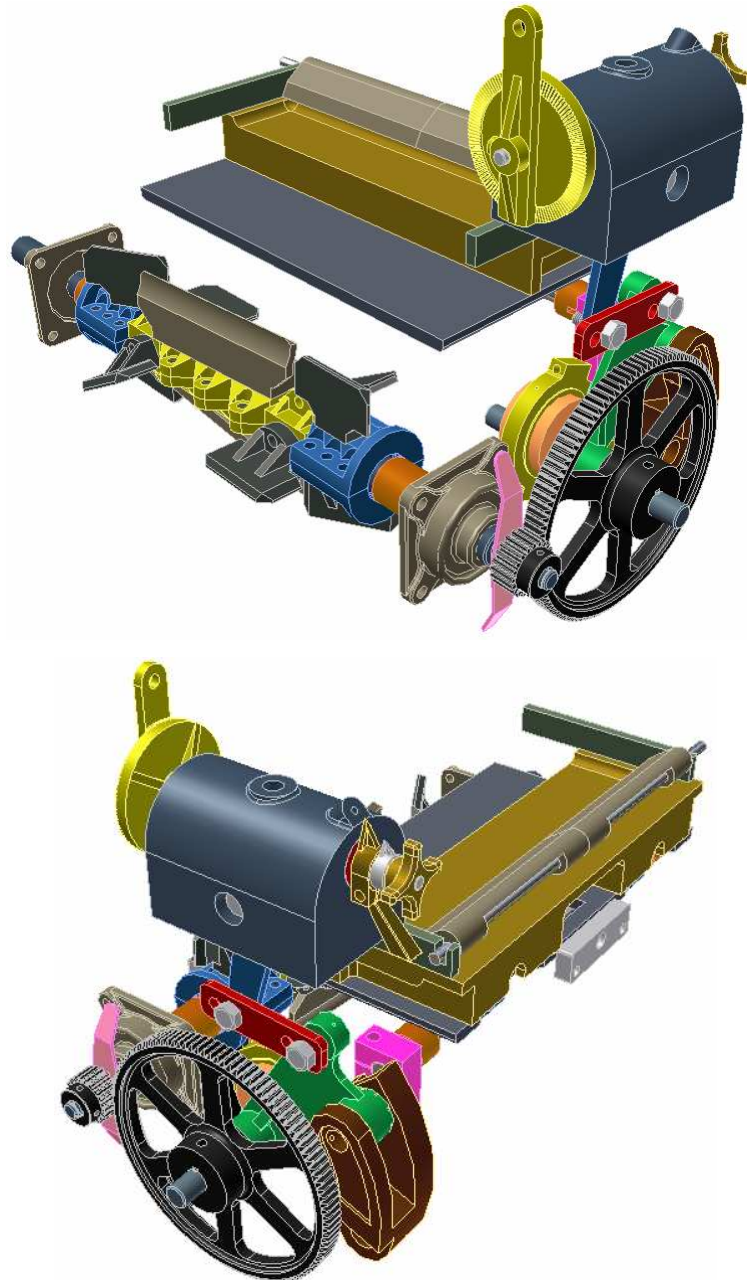
En la figura 9, se observa el sistema actual de oscilación de un alimentador de carbón de una caldera industrial. Este mecanismo esta compuesto por piezas como una biela excéntrica, una platina limitadora de carrera, una biela de control, un tornillo sinfín – corona, una relación de engranajes en configuración de reductor de velocidad, un disco dentado, un puntero, un par de brazos de empuje, un eje

transmisor para los brazos de empuje, tres chumaceras, varios bujes de bronce, entre otras.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del concepto generado

	<b>Bandeja</b>
<b>Regulación precisa</b>	<b>+</b>
<b>Elimina servomotor + eje + palancas</b>	<b>+</b>
<b>Confianza inicial entre los trabajadores</b>	<b>+</b>
<b>Elimina rodamientos – bujes</b>	<b>-</b>
<b>Evita uso del aceite</b>	<b>-</b>
<b>Elimina mecanismo de oscilación</b>	<b>-</b>
<b>Disminuye consumo de corriente en el motor impulsor del eje distribuidor</b>	<b>+</b>
<b>Seguridad en su desempeño</b>	<b>+</b>
<b>Mantenimiento</b>	<b>+</b>

Figura 9. Transmisión sistema de regulación Alimentador de carbón



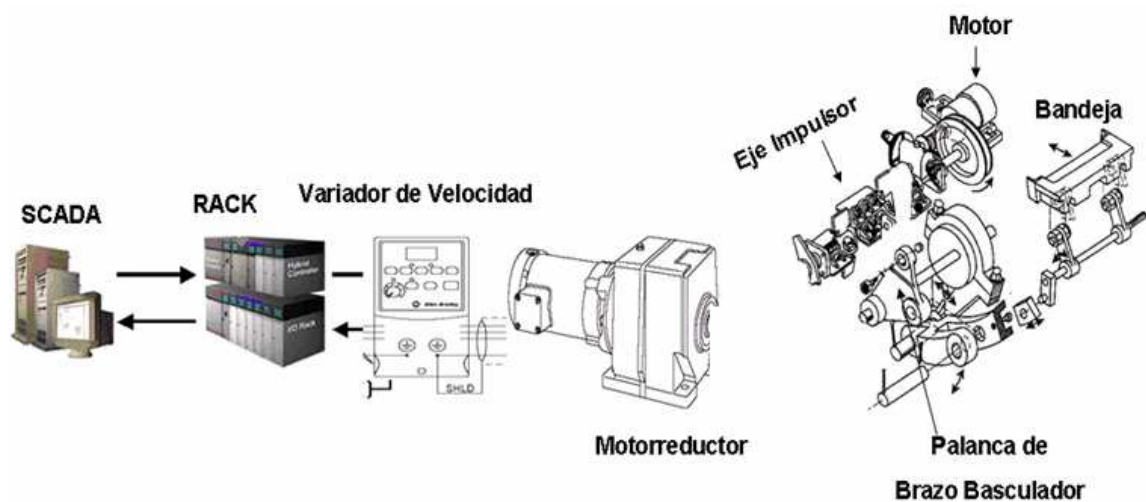
Fuente: Ingenio Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira. 2006. p. 20.

El accionar la bandeja a diferentes velocidades con el mismo desplazamiento, traerá consigo otros beneficios tales como:

- Disminuir la carga en el motor impulsor disminuyendo así su consumo de corriente y alargando significativamente su vida útil.
- Hacer balances en cuanto a la cantidad de carbón suministrado a la caldera.

La figura 10 muestra en forma general como sería el nuevo accionamiento para los alimentadores de carbón, accionando independientemente el eje impulsor y la bandeja junto con las piezas que serían suprimidas.

Figura 10. Transmisión sistema de regulación alimentador de carbón



## **7 DISEÑO DETALLADO**

Este paso incluye la creación de un conjunto de dibujos de ensamble, donde se muestra en detalle cada una de las partes del equipo presentado; para su diseño fueron utilizadas herramientas ofrecidas por computadora, para dar solución al tema en cuestión; dando a conocer las características técnicas de los equipos y del material usado para el desarrollo del mismo justificando el por que de su utilización.

Esta justificación se basa en experiencia y consejos ofrecidos por los proveedores de los equipos, por las personas capacitadas que trabajan en el área de calderas del ingenio, de experiencias personales y conocimientos adquiridos a lo largo de la formación de pregrado.

Criterios de diseño tenidos en cuenta son:

- ❖ Especificación de las variables que van a realimentar y manipular para lograr los objetivos de control. Seleccionar, diseñar y sintonizar los reguladores seleccionados.
- ❖ Permitir que el diseño y los elementos seleccionados, sean compatible con el sistema existente, y se adapte con gran facilidad a la arquitectura del mismo.
- ❖ La parte mas importante del proyecto es volver el proceso confiable, permitir un ahorro económico valioso para la empresa, que se vea representado en tiempo y dinero, en aras de una mayor competitividad.

- ❖ Que los costos generados por diseño, sean fácilmente recuperables por la empresa, por esta razón se utilizaran materiales y proveedores de acuerdo a las exigencias y especificaciones de esta. ajustándose al presupuesto dado.
- ❖ La disponibilidad de los materiales en el mercado fue un factor clave para la toma de decisiones, debido a que se cuenta con un proveedor nacional que se ajusta a las especificaciones de diseño y condiciones externas, que brindan a la empresa seguridad y confianza en el mecanismo.

## 7.1 MODULO DE CONTROL

### 7.1.1 Clases de control

#### ➤ Control PI

El funcionamiento de un control **PI**, es mantener una salida constante, el controlador mide la salida y controla la entrada (usualmente un sensor) y aplica modelos matemáticos a la diferencia de los dos (denominados errores) <sup>4</sup>. El error es luego tratado en tres diferentes maneras simultáneamente.

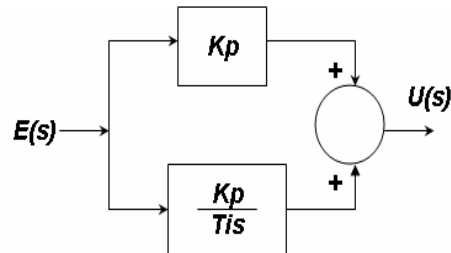
$K_p$  = ganancia proporcional

$T_i$  = Tiempo integral o tiempo de reestablecimiento. Es el tiempo, generalmente expresado en minutos, que debe transcurrir para que la acción integral alcance (iguale o repita) a la acción proporcional.

---

<sup>4</sup> SHINSKEY, F. G. Process control system. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1996. p. 291

Figura 11. Esquema de control PI



#### Efectos del control PI

- ❖ el tiempo integral ( $T_i$ ) regula la acción de control integral, mientras una modificación de  $K_p$  afecta tanto a la parte proporcional como a la integral.
- ❖ Si  $K_p$  aumenta, la respuesta se hace más rápida y más oscilatoria. Valores grandes de  $K_p$  pueden llevar al sistema a la inestabilidad.
- ❖ Si  $T_i$  disminuye (con  $K_p$  constante), la respuesta es mas rápida pero también mas oscilatoria.

#### ➤ Control integral

Los controladores proporcionales industriales usualmente tienen una segunda acción de control para eliminar el offset con la misma secuencia de pasos, chequeo, ajuste, y rechequeo del estado de la variable controlada hasta que regrese al set point. La acción integral a menudo es llamada reajuste (reset) porque reajusta (resetea) la salida del controlador hasta que el set point sea alcanzado. La acción de reajuste (reset) está determinada en repeticiones por minuto o minutos por repetición.

Es la acción que produce una señal de control proporcional al tiempo que la salida del proceso ha sido diferente del punto de consigna.



#### ➤ Control Proporcional

Acelera la respuesta del proceso controlado: La acción de control es Proporcional al error. Con un control proporcional, la respuesta del sistema se mantendrá cerca del setpoint. Proporciona buena estabilidad, responde muy rápido y dinámicamente es relativamente estable.

Cuando el control proporcional es combinado con el control integral, la acción de control proporcional es repetida hasta que el elemento final de control es posicionado para corregir el offset.

#### ➤ Control Override

La idea básica de este control, consiste en la protección para que ciertas variables de interés no superen determinados límites (restricciones) <sup>5</sup>. Es una estrategia para procesos en que varios reguladores con objetivos diferentes comparten un mismo actuador.

El control override es una técnica mediante la cual las variables de proceso son mantenidas dentro de ciertos límites, usualmente con propósitos de protección. El control override mantiene el proceso en operación pero dentro y bajo condiciones seguras.

#### ➤ Control Feedforward

La idea básica de este control, consiste en detectar las perturbaciones cuando se producen (cuando entran al proceso) y hacer ajustes en la variable manipulada

---

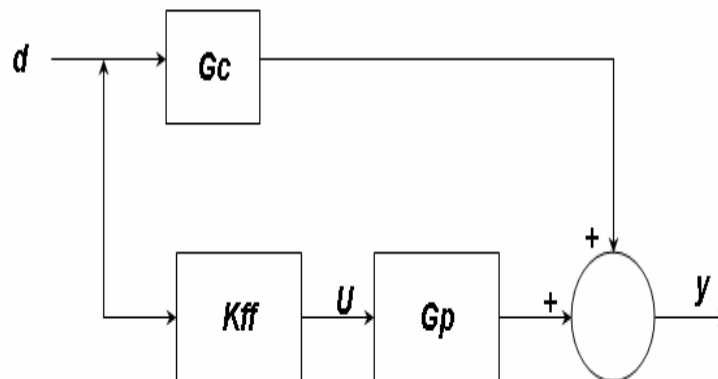
<sup>5</sup> Ibid., p. 173

para evitar cambios en la variable controlada<sup>6</sup>. No espera que la perturbación altere todo el proceso sino que toma una acción inmediata tendiente a compensar (anular) los efectos que producirá la perturbación en la salida.

Para lograr este propósito, la perturbación medida  $d$  se alimenta a un controlador denominado **feedforward**  $K_{ff}$  (o de prealimentación) el cual genera una acción de control  $u$  para tratar de mantener a la variable controlada  $y$  cerca del set-point. El diagrama de bloques del esquema de control feedforward se muestra en la figura 12. En esta figura  $G_p$  representa la función de transferencia del proceso a controlar y  $G_d$  es la función de transferencia de la perturbación.

El propósito del controlador feedforward consiste en, idealmente, mantener al proceso a controlar siempre en el valor de operación deseado.

Figura 12. Esquema de control de tipo feedforward



---

<sup>6</sup> Control Feedforward. [en línea]. ciudad de México: Javier F. López Rubio, 2002. [consultado 30 de mayo de 2006]. Disponible en Internet: [http://200.13.98.241/~javier/control\\_feedforward.pdf](http://200.13.98.241/~javier/control_feedforward.pdf)

➤ Control de Acción Inversa

Un control de acción inversa, consiste en que la salida disminuye cuando la variable del proceso es mayor a la deseada.

## **7.2 CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO**

7.2.1 Bloque del modulo de mando del procesador (control processor module block - CPM). Identifica los módulos de procesador primario y secundario de control (CPM) y el CEE asociado para poner la estrategia del control en ejecución construida en el constructor del control (Control Builder).

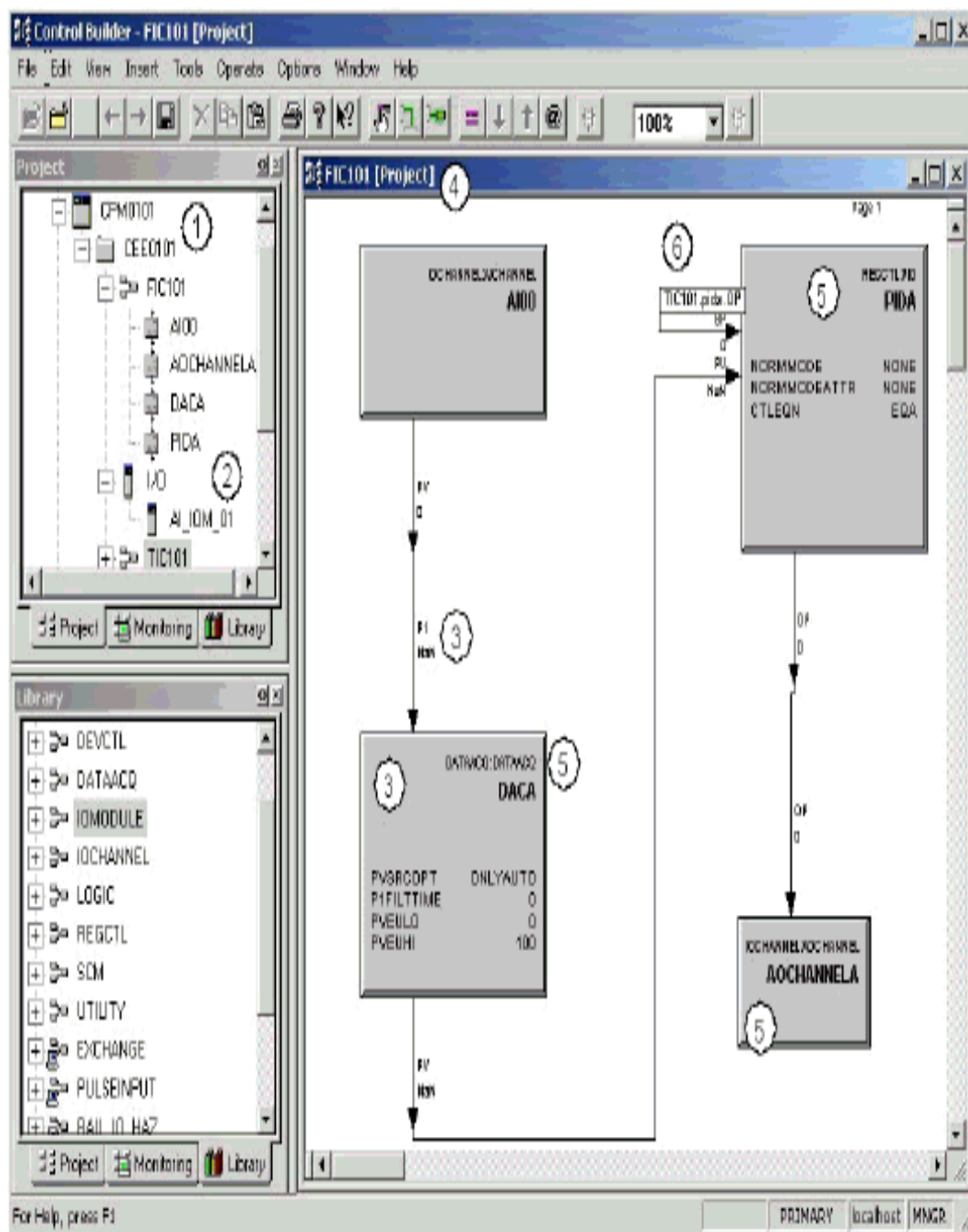
Publica los parámetros que describen el estado y la configuración del CPM. Procesa el cómputo de parámetros y de la divulgación estadísticos de la notificación.

Define la asignación del ambiente de la ejecución del nombre/de la localización y del control (CEE) para CPMs primario y secundario en los reguladores conectados C200.

7.2.2 Control del ambiente de ejecución (control execution environment block). Proporciona la funcionalidad del control para el bloque asociado del módulo de procesador de control (CPM). Los parámetros de este bloque caracterizan el CEE dentro del CPM.

Publica los parámetros que describen el estado y la configuración del CEE. Procesa el cómputo de parámetros y de la divulgación estadísticos de la notificación. Ejecuta y comunica bloque de las ayudas en el CPM dado.

Figura 13. Configuración del control del constructor (Control Builder)

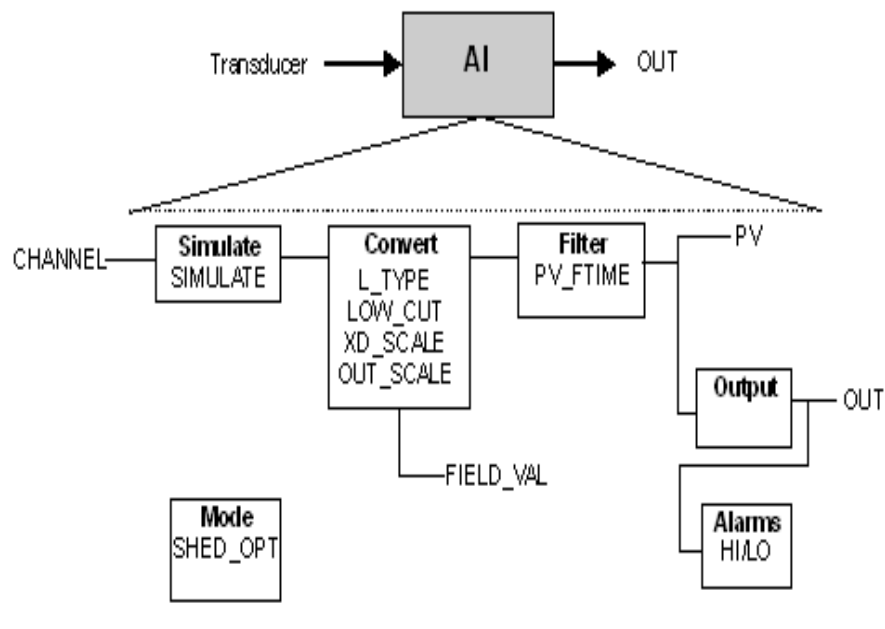


Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

## 7.3 BLOQUES UTILIZADOS EN LA CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO LÓGICO

7.3.1 Bloque de entrada analógica. El bloque de la función del AI toma los datos de entrada de un bloque del transductor y calcula una salida que se alimentará a otros bloques de la función. Un diagrama esquemático funcional del bloque se muestra en la figura siguiente.

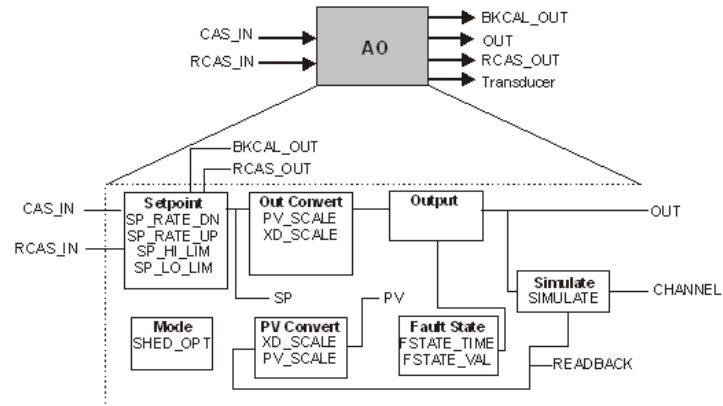
Figura14. Diagrama esquemático de la entrada analógica



Fuente: Experion PKS, Release 200: Honeywell, 2005.

7.3.2 Bloque de salida analógica. Descripción. El bloque de la función de salida analógica convierte el valor del punto de ajuste (SP) a un número que se pueda utilizar por el hardware asociado a la selección de CANAL. Un diagrama esquemático funcional del bloque se muestra en la figura siguiente para la referencia. .

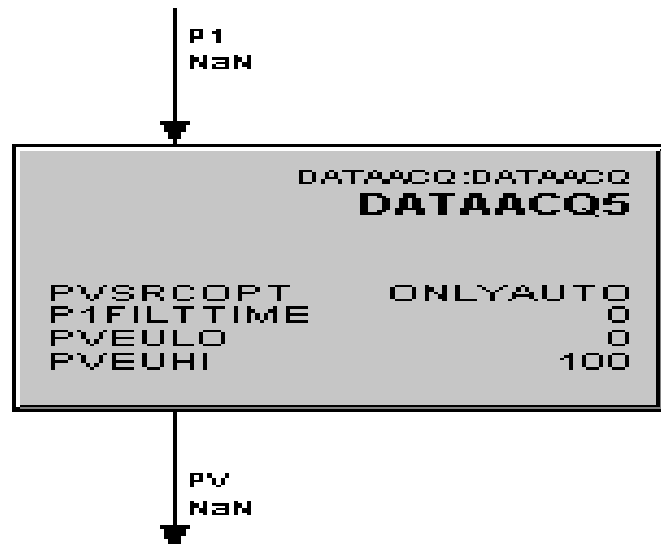
Figura15. Diagrama esquemático de la salida analógica



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

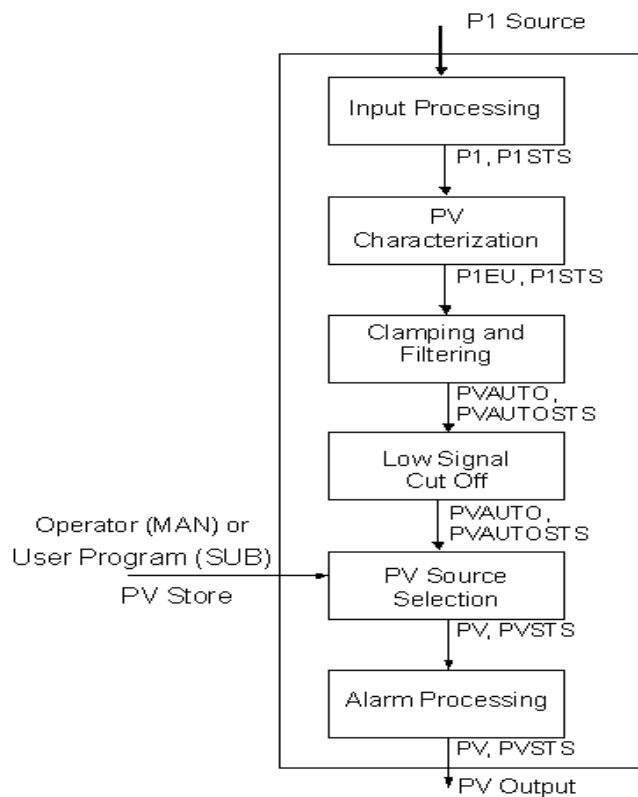
7.3.3 Bloque de adquisición de datos. Proporciona el condicionamiento de señal para un valor de proceso de la entrada de otro bloque de la función. Este bloque se configura normalmente para traer una entrada analógica de un bloque de la función del canal de la entrada analógica.

Figura16. Bloque de adquisición de datos



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

Figura17. Diagrama funcional del bloque de adquisición de datos (DACA)

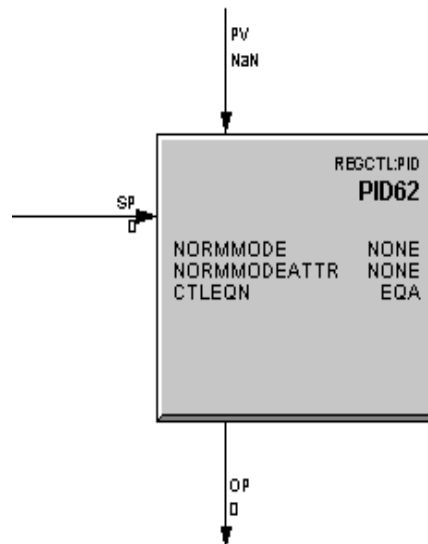


Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

7.3.4 Bloque PID. El bloque de PID es un bloque de control regulador que funciona como regulador del proporcional-integral-derivado (PID). Apoya la forma ideal de calcular los términos de PID. La forma ideal a menudo se llama la versión de la digital-computadora del regulador de PID. Ver figura 18

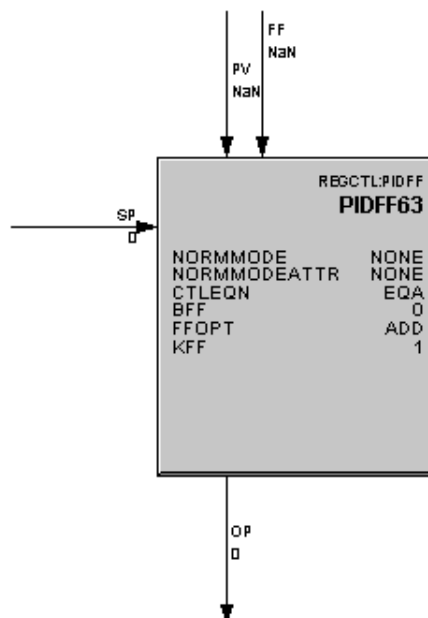
7.3.5 Bloque pidfeedforward (PIDFF). Descripción: El bloque de PIDFF es como el bloque de PID pero acepta una señal del feedforward como entrada adicional. Puedes configurar el bloque de PIDFF así que la señal del feedforward se agrega a o es multiplicada por la salida incremental del algoritmo normal de PID para resolver tus requisitos particulares del control. Esto te deja poner una función de control en ejecución del feedforward a través de un solo bloque de la función. Ver figura 19.

Figura18. Bloque PID



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

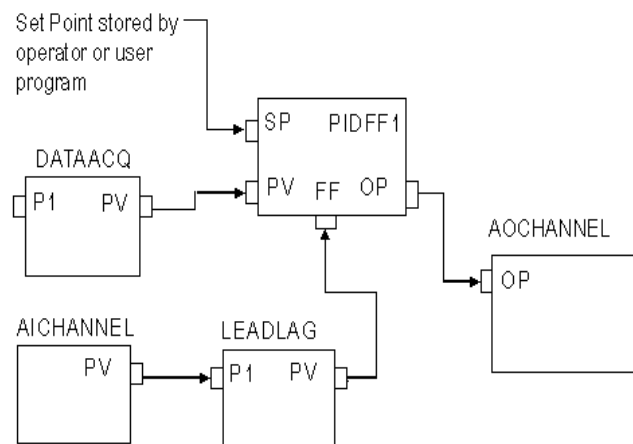
Figura 19. Bloque Feedforward



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.



Figura 20. Diagrama funcional del bloque PID por adelanto

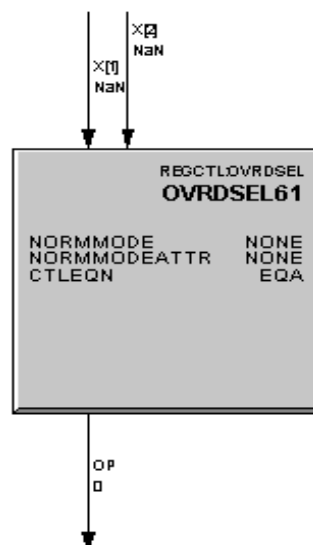


Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

7.3.6 Bloque ovrdsel. Descripción. El bloque de OVRDSEL acepta hasta cuatro entradas (primarias) y selecciona el que está con el valor más alto o más bajo.

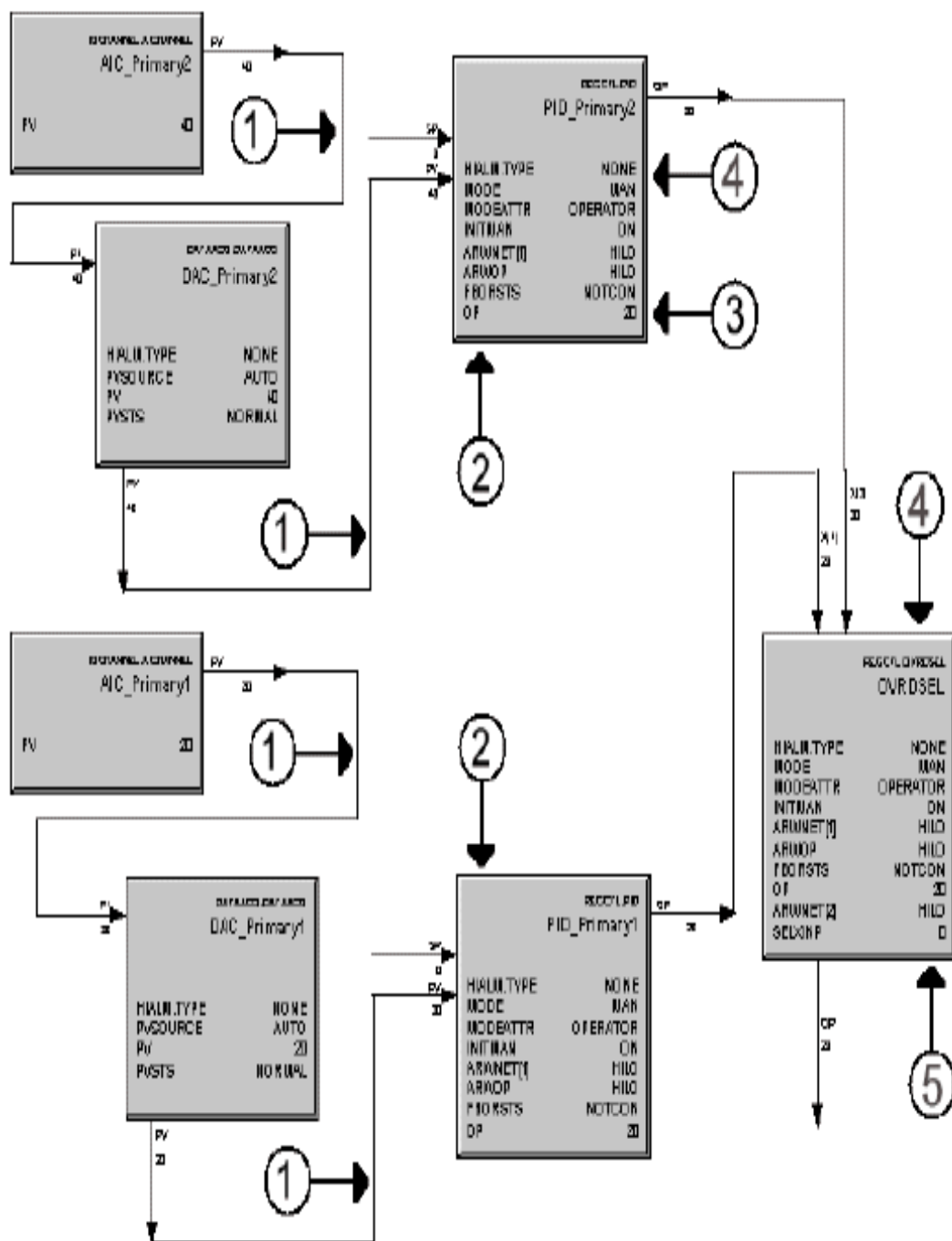
Este bloque fuerza siempre las entradas no seleccionadas para seguir la entrada seleccionada permitiendo la opción de la regeneración de la invalidación.

Figura 21. Bloque OVRDSEL



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

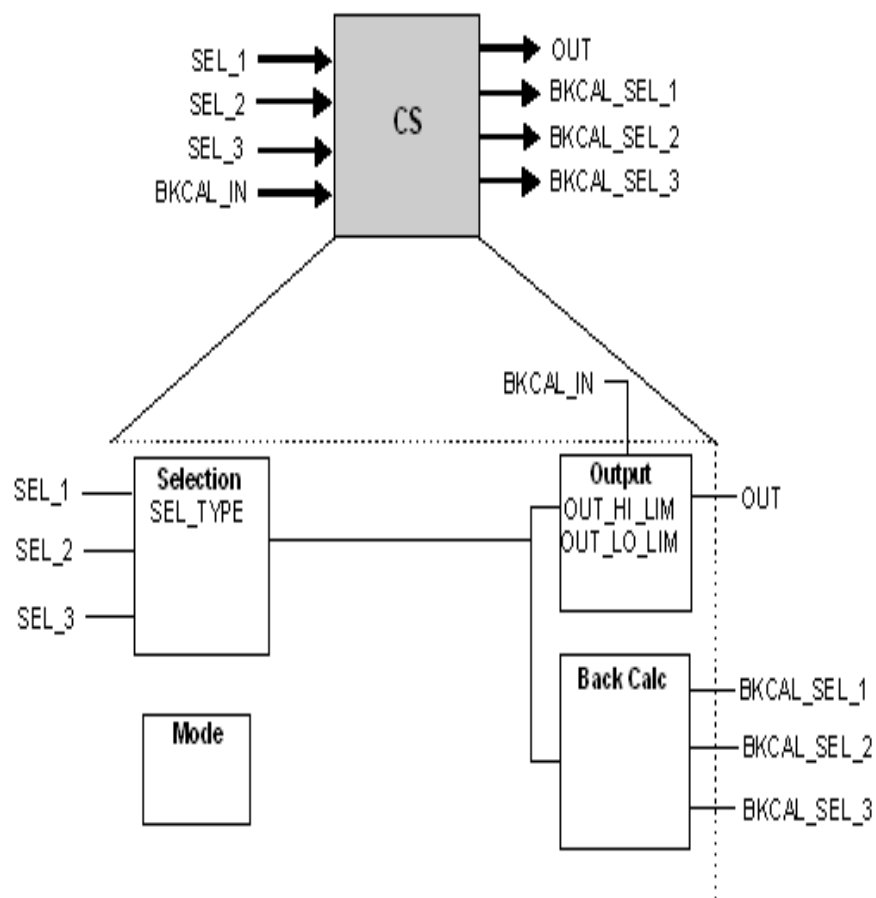
Figura 22. Configuración usando el bloque OVRDSEL.



Fuente Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

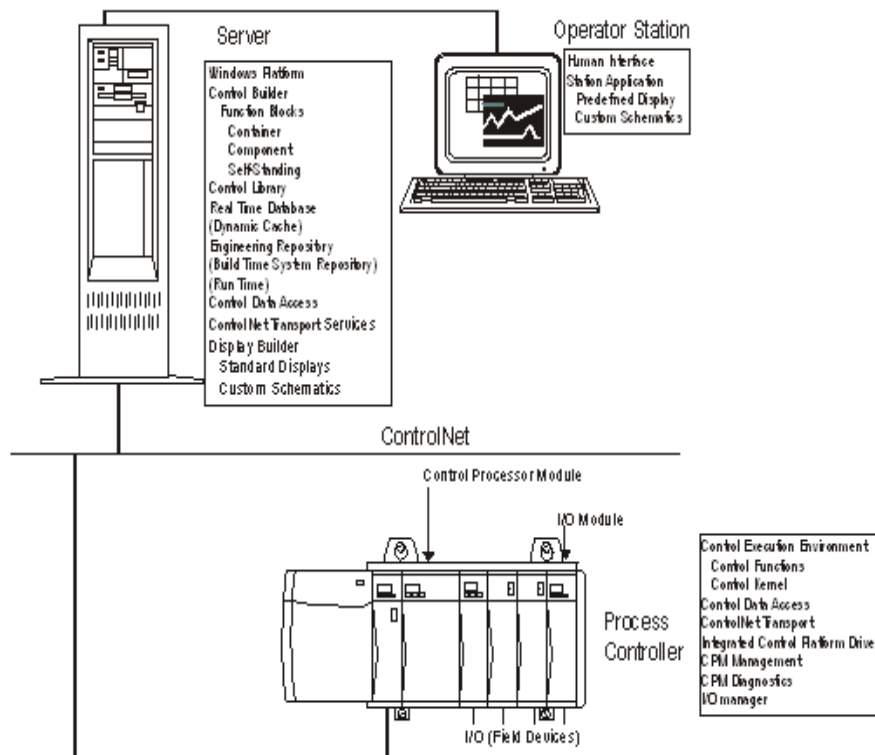
7.3.7 Bloque de control selectivo. Descripción Este bloque acepta la entrada de hasta tres señales de control y selecciona uno para la salida basada en el ajuste de SEL\_TYPE de alto, de medio, o el punto bajo. Un diagrama esquemático funcional del bloque se demuestra en la figura siguiente para la referencia.

Figura 23. Diagrama esquemático del control selectivo



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

Figura 24. Apreciación simplificada de la arquitectura Experion PKS



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

## 7.4 SISTEMA SUPERVISOR

7.4.1 Tecnología hmiweb. Las estaciones de trabajo para operadores de Honeywell muestran gráficos en color de gran resolución, adaptados para satisfacer los requisitos de instalaciones individuales y todos ellos accesibles desde una única ventana. Los menús y las barras de herramientas desplegables y configurables por el usuario le permiten desplazarse de forma sencilla e intuitiva, así como lograr rápido acceso a información crucial. El sistema incluye un número elevado de pantallas estándar, con la consiguiente reducción del trabajo de los ingenieros. Por otra parte, Honeywell utiliza la funcionalidad avanzada de Display Builder para permitirle crear sus propias pantallas personalizadas. El sistema

restringe el acceso de un operador individual a únicamente la información de pantalla, alarmas y edificio que precise sobre las zonas para las que esté autorizado. En el caso de operaciones críticas de la instalación, la función de “nivel de control” adicional garantiza que sólo los operadores con experiencia puedan controlar el equipo. Además, Honeywell incorpora a la pantalla del operador una interfaz de explorador Web cómoda al tiempo que segura. La tecnología Honeywell HMIWeb™ permite al operador utilizar tanto Internet como intranet sin dejar de tener acceso a las funciones de operador normales. Esta tecnología otorga un acceso sin precedentes a hojas técnicas de productos o documentos de “secuencia de funcionamiento” desde la pantallas internas de gestión del edificio. A fin de lograr la máxima flexibilidad y comodidad, el sistema también permite al personal autorizado ver y gestionar funciones seleccionadas. Utilizando una interfaz de explorador Web estándar con su PC, los usuarios pueden ver el estado del equipo, comprobar las temperaturas actuales, así como controlar los parámetros de comodidad e iluminación de sus zonas<sup>7</sup>.

El sistema de proceso del conocimiento de Experion™ de Honeywell (PKS) utiliza la tecnología patentada de HMIWeb, una integración de soporte tela-basada de la arquitectura de los interfaces humanos de la máquina (HMI), el uso, y datos de negocio. El empleo del archivo abierto, industry-standard ajusta a formato y las opciones de tercera persona del authoring tool, HMIWeb permiten a usuarios aprovecharse de su conocimiento existente, proteger la característica intelectual valiosa, y reutilizar exhibiciones entre los sistemas.

Esta solución avanzada del interfaz combina el acceso, la robustez, y el funcionamiento constantes y seguros con capacidades avanzadas de los gráficos

---

<sup>7</sup> HMIWeb [en línea]. ciudad de México: nojoxten, [s.f.]. [consultado 24 de mayo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.nojoxten.com.mx>

de la tela. La tecnología de HMIWeb ofrece la ventaja de la entrega completamente integrada de los datos usando tecnologías estándares del Internet tales como HTML y XML.

La tecnología de HMIWeb apoya el acceso seguro a las representaciones gráficas de proceso del ambiente seguro de la estación de Experion, o directamente del Microsoft Internet Explorer sin “exportaciones funcionalidad-reductoras.”

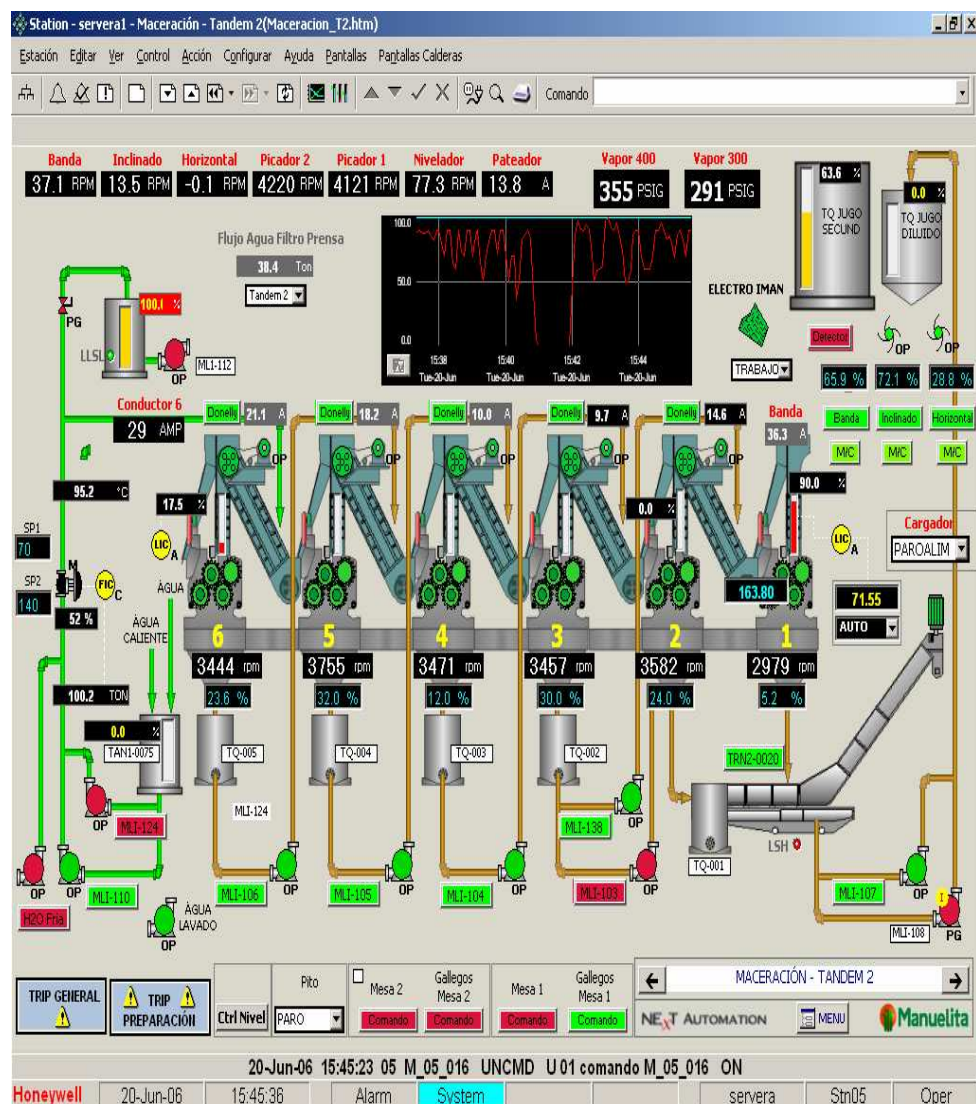
HMIWeb combina proceso, el uso, y datos de negocio seamlessly, y es el interfaz abierto, seguro, y de uso fácil la mayoría de control de sistema disponible. Permite a la información de sistemas múltiples ser visto en una sola exhibición del interfaz del operador. Esto no sólo facilita la operación alejada, pero la integración de las ayudas de las fuentes de datos extranjeras y las varias gradas de los sistemas misión-críticos de la planta.

Los usuarios típicos de las estaciones de Experion incluyen: operadores, ingenieros del mantenimiento, encargados y reguladores de la producción. Los operadores necesitan generalmente estaciones dedicadas, mientras que los ingenieros del mantenimiento pueden necesitar solamente el acceso a corto plazo a una estación dos o tres veces al día. Otros usuarios, tales como encargados y reguladores de la producción, pueden necesitar el acceso inalterable a las exhibiciones y a los informes de la tendencia\*.

La estación HMI de EXPERION permite el estado plus ultra, los gráficos basados objeto para proporcionar un interfaz de gran alcance para el usuario. El uso de los estándares de la industria, tales como Microsoft Windows 2000, Ethernet, HTML y el Internet, reduce al mínimo el entrenamiento de operador proporcionando un ambiente de funcionamiento familiar siempre. La estación de HMIWeb hace el uso extenso de menús pull-down y de toolbars configurables del usuario de permitir la navegación fácil, intuitiva y el acceso rápido a los datos de proceso dominantes.

La utilidad del interfaz del operador se realza más a fondo con las características tales como memoria del comando, integración de video, documentos de ActiveX, ayuda scripting, el lanzar los usos y para los periféricos estándares por ejemplo: tarjetas de los sonidos, pantallas de tacto, tarjetas video de la pantalla dual.

Figura 25. Tecnología de HMIWeb de Honeywell en el trabajo



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

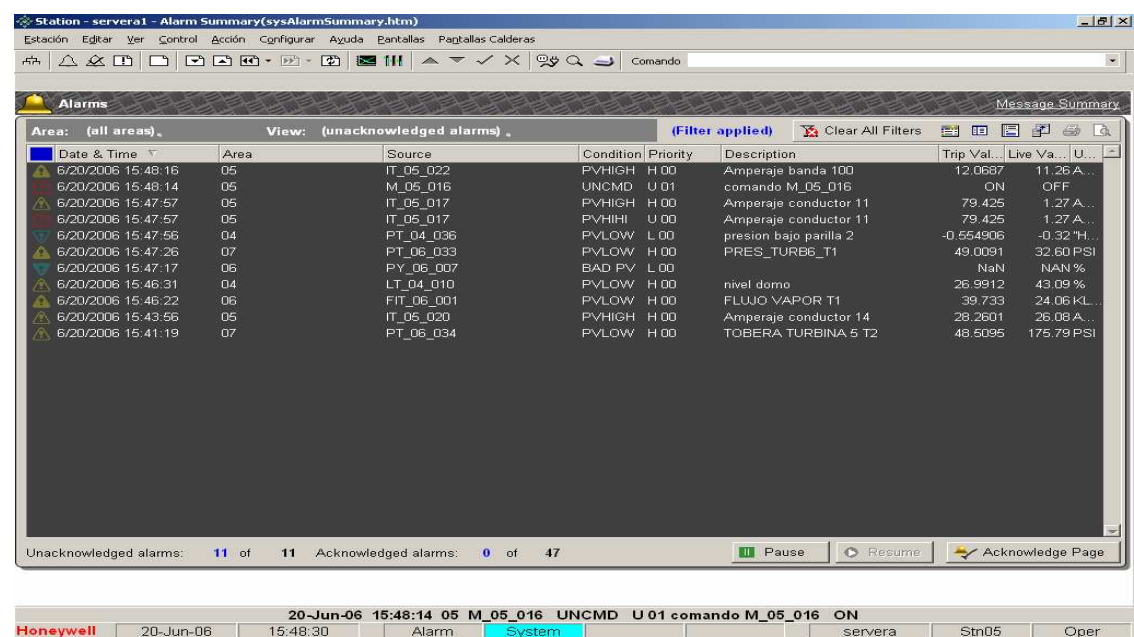
7.4.2 Gerencia de alarmas / eventos. La gama completa de funciones de gestión de alarmas de Honeywell garantiza que los operadores descubran inmediatamente la aparición de condiciones fuera de lo normal en el edificio. La funcionalidad de alerta del sistema incluye alarmas sonoras y una línea exclusiva para alarmas en cada página. La página de resumen de alarmas puede clasificar y filtrar todas las alarmas según su prioridad, zona o estado, lo que permite a los operadores responder a los casos más urgentes en primer lugar. El sistema puede notificar automáticamente al personal que se encuentre fuera de las instalaciones sobre las alarmas y enviarles instrucciones mediante localizadores alfanuméricos. Además, la función de registro toma nota automáticamente de todas las alarmas y reconocimientos, así como del regreso a condiciones normales. . El resumen del acontecimiento almacena la historia en línea de los 30.000 acontecimientos pasados eso ocurrir en el sistema, incluyendo alarmar, reconocimientos, operador sign-on y acciones de operador por ejemplo cambios del setpoint.

Con la gestión avanzada de alarmas, los operadores obtienen la información que necesitan para garantizar una respuesta rápida y efectiva. Cuando la alarma suena, esta función:

- Indica exactamente en un gráfico dónde se ha disparado la alarma
- Lista el procedimiento adecuado para afrontar el incidente
- Solicita a los operadores que registren su respuesta real
- Registra todas las acciones en un archivo de eventos para realizar análisis e informes



Figura 26. Resumen de alarmas



Fuente: Experion PKS, release 200: Honeywell, 2005.

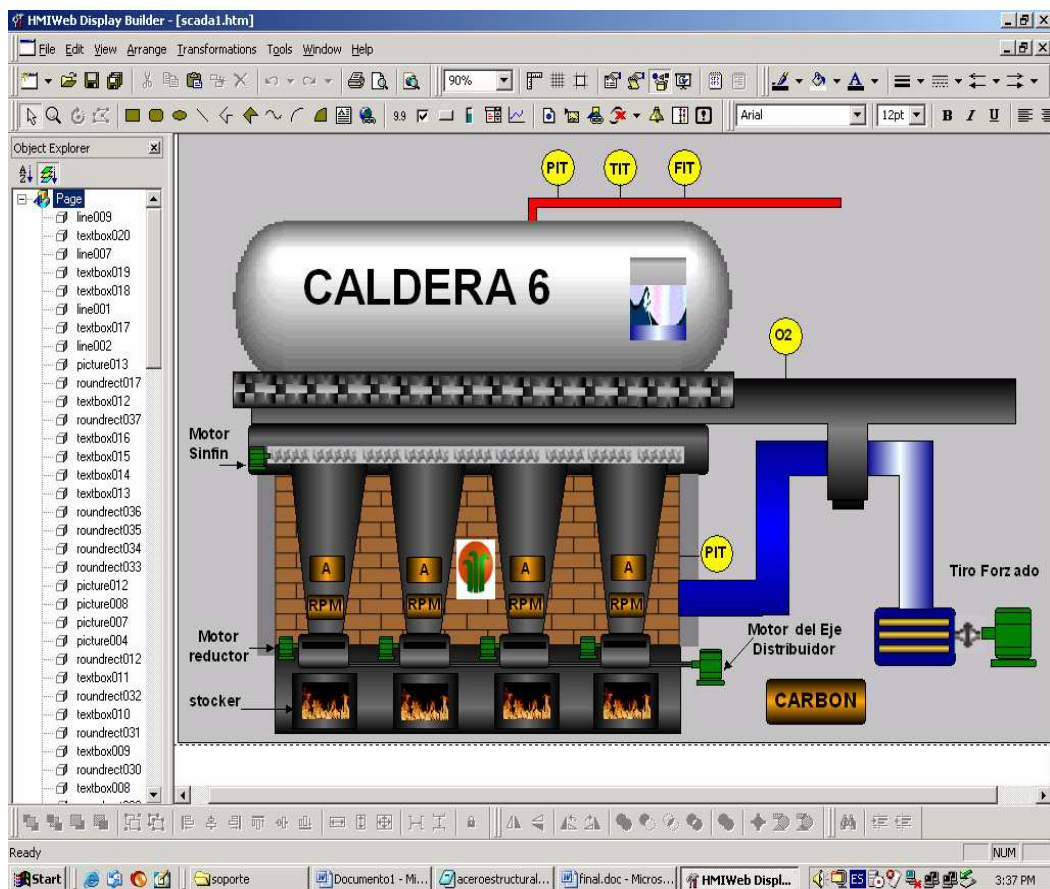
Las estaciones de trabajo para operadores de Honeywell muestran gráficos en color de gran resolución, adaptados para satisfacer los requisitos de instalaciones individuales y todos ellos accesibles desde una única ventana. Los menús y las barras de herramientas desplegables y configurables por el usuario le permiten desplazarse de forma sencilla e intuitiva, así como lograr rápido acceso a información crucial. El sistema incluye un número elevado de pantallas estándar, con la consiguiente reducción del trabajo de los ingenieros. Por otra parte, Honeywell utiliza la funcionalidad avanzada de Display Builder para permitirle crear sus propias pantallas personalizadas. El sistema restringe el acceso de un operador individual a únicamente la información de pantalla, alarmas y edificio que precise sobre las zonas para las que esté autorizado. En el caso de operaciones críticas de la instalación, la función de “nivel de control” adicional garantiza que sólo los operadores con experiencia puedan controlar el equipo. Además, Honeywell incorpora a la pantalla del operador una interfaz de explorador Web cómoda al tiempo que segura. La tecnología Honeywell HMIWeb™ permite al

operador utilizar tanto Internet como intranet sin dejar de tener acceso a las funciones de operador normales. Esta tecnología otorga un acceso sin precedentes a hojas técnicas de productos o documentos de “secuencia de funcionamiento” desde la pantallas internas de gestión del edificio. A fin de lograr la máxima flexibilidad y comodidad, el sistema también permite al personal autorizado ver y gestionar funciones seleccionadas. Utilizando una interfaz de explorador Web estándar con su PC, los usuarios pueden ver el estado del equipo, comprobar las temperaturas actuales, así como controlar los parámetros de comodidad e iluminación de sus zonas.

7.4.3 Secuencia de operación. A continuación se muestra brevemente la secuencia de operación según la concepción de desarrollo planteada para la interfaz con el usuario. La pantalla principal es la mostrada en la figura 27. Esta interfaz grafica (HMIWeb) permite a los usuarios típicos de las estaciones de Experion regular y/o visualizar el proceso de adición de combustible, según las demandas y necesidades del proceso en cada momento.

Desde esta pantalla se tiene acceso a toda la funcionalidad del sistema. Al inicio el acceso es en calidad de Operador de Planta que accede sólo a las funciones propias del display builder, y visualizar los históricos, el resumen de alarmas y mensajes. Para cambiar de usuario se entra en Login con la clave correspondiente.

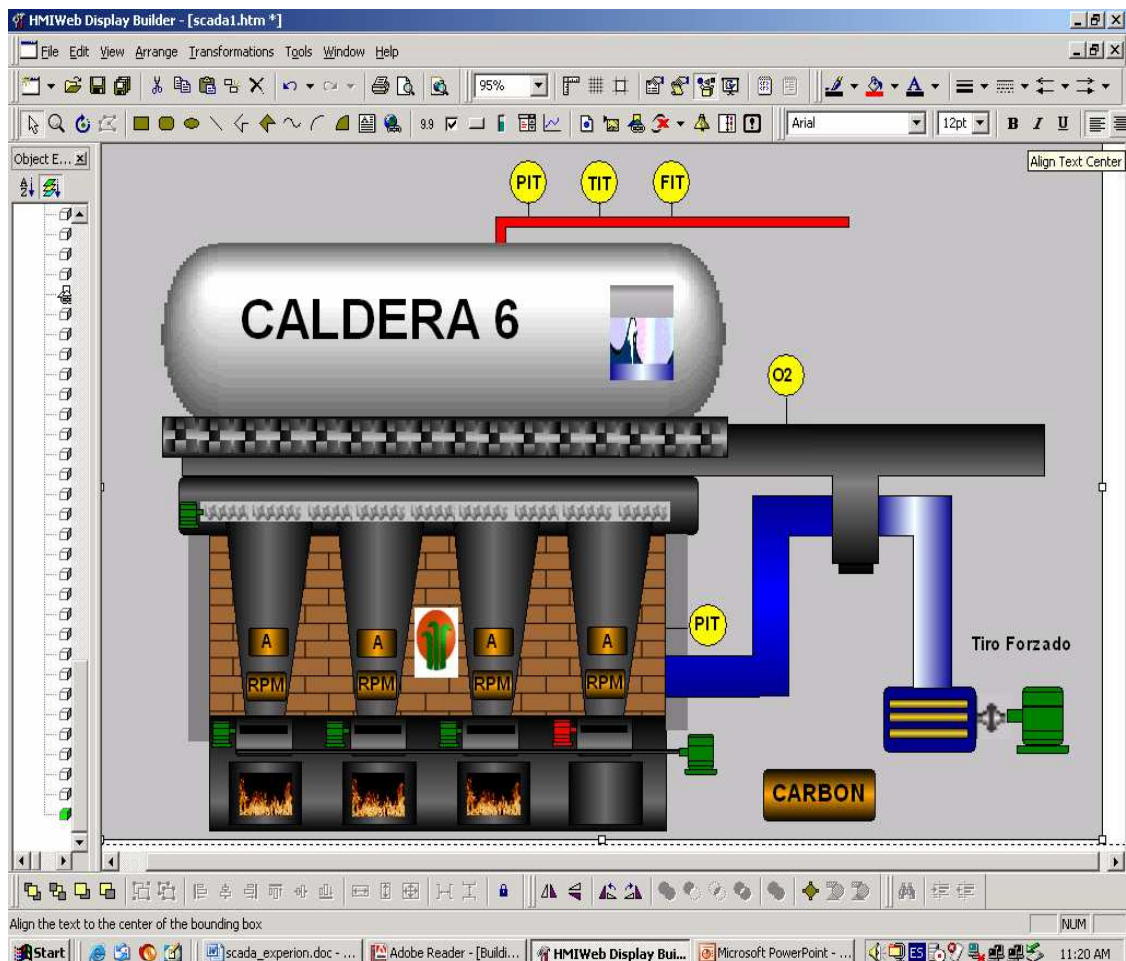
Figura 27. Pantalla principal



- En la pantalla se muestra la ubicación de cada uno de las variables involucradas en el proceso como: (presión, flujo, temperatura y oxígeno), con su respectiva medición.
- El cuadro de **RPM** y **A** permite visualizar las velocidades y amperajes de cada uno de los motorreductores ubicados en cada alimentador de carbón.
- El cuadro de **CARBÓN** es la cantidad de combustible que se le está suministrando a la caldera, se puede modificar manualmente dicha cantidad; esta cantidad está dada en porcentaje (0 a 100%).

- Cada alimentador de carbón (stocker), esta simbolizado por una "llama" indicando su funcionamiento, si alguno de estos no esta trabajando la "llama" desaparecerá de la pantalla. Ver figura 28.
- Los motores y motor-reductor están representados por figuras de color verde, relacionadas con el funcionamiento de cada uno, cuando alguno de ellos no este funcionando se pondrán de color rojo. Ver figura 28.
- Si se requiere ver el comportamiento de alguna variable del proceso, se debe seleccionar el icono o imagen correspondiente a su medición.

Figura 28. Interfaz grafica



## **7.5 ESTRATEGIA DE CONTROL**

7.5.1 Control de presión de vapor. La principal variable a controlar en una caldera es la presión de vapor de agua, pues ésta la que se necesita mantener en un vapor constante para ser entregada a cualquier rata de consumo del vapor, por medio de un cabezal (donde influye las salidas da vapor de varias calderas) o en forma directa (cuando el vapor proviene de una sola caldera) hacia el proceso. Para mantener estable, dentro de un rango pequeño, la presión de vapor, es necesario que la combustión entregue una cantidad de calor suficiente a cualquier rata de de consumo de vapor lo que se consigue con una oportuna alimentación de combustible – aire y una adecuada mezcla de estos, pues una variación en el flujo de la mezcla aire-combustible, provocará una variación en la cantidad de agua liquida que se evapora y repercutirá en el presión de vapor en el domo.

El control de presión es un control PI por anticipo (feedforward) de acción inversa, este tipo de control se aplica para evitar las caídas de presión de vapor debido a las demandas intempestivas de flujo de vapor por parte de la planta. El objetivo de este controlador es controlar las perturbaciones provenientes de los transmisores de flujo y presión, antes de afectar el proceso (planta) y tomar la acción correctiva para evitar un efecto dañino al proceso de combustión. Un aumento en la presión de vapor provoca una disminución del flujo combustible. En este caso se esta utilizando la señal proveniente del transmisor de flujo (perturbación medible) como señal de anticipo (feedforwad) para tener una reacción del sistema antes de variar la presión de vapor.

7.5.2 Control de presión de hogar. Es un control PI de acción inversa. Este control es esencial para evitar daños mecánicos en la estructura de la caldera pues si hay una presión positiva dentro del hogar, se corren riesgos de presurización de la caldera y posterior rompimiento cuando los esfuerzos mecanismos presentados en los materiales de la caldera superan su capacidad de resistencia. La presión de

hogar tampoco debe ser muy negativa pues podría haber implosión y recogimiento de la estructura; fenómeno que ocasionaría arrastre del combustible dentro de la tubería que lleva el agua. Ante un aumento en la presión de hogar (cuando la presión se hace mas negativa, se dice que aumenta) provoca una disminución en la cantidad de combustible.

7.5.3 Control de flujo de vapor. Es un control PI de acción inversa. Es un control de flujo máximo, para evitar que la caldera trabaje por encima de los parámetros de diseño. Un aumento en la medición de flujo provoca una disminución en la cantidad de combustible.

7.5.4 Control de temperatura de vapor. Es un control PI de acción inversa. Este control es esencial para evitar daños mecánicos en la tubería del sobrecalentador (*SuperHeater*). Por razones de seguridad se debe mantener la temperatura de vapor por debajo de un cierto límite de diseño. Un aumento en la temperatura de vapor provoca una disminución cantidad de combustible.

7.5.5 Control de oxígeno (O<sub>2</sub>). Es un control PI de acción inversa Este control es básico para mantener los excesos de oxígeno con que opera la caldera, dentro de una operación adecuada (4 y 5%). Un aumento en la medición de oxígeno provoca una disminución en el porcentaje de apertura del damper.

7.5.6 Funcionamiento de la estrategia de control. La señal proveniente de los transmisores (presión, flujo, temperatura) es enviada a su respectivo controlado PI (control de presión, de flujo y temperatura), el cual le aplica un algoritmo de control a esta señal y envía la señal correctora al controlador **override**.

La señal proveniente de los controladores (control de presión de vapor, control de presión de hogar, control de temperatura de vapor y control de flujo de vapor) es aplicada a un control selectivo (**OVRDSEL**), este control esta usando un “low

switch selector”; el cual de acuerdo a las condiciones ya preestablecidas, deshabilita los controladores que están trabajando dentro de su rango de operación (presión de vapor 325psi, temperatura de vapor 400°C, flujo vapor 150 kLb/H, presión de hogar -0.1psi) y habilita la que no está en estos rangos; a través de este selector por menor, es seleccionada la salida de uno de los controladores; la cual será el que controlara el elemento final de control (motor). Este control selectivo ayuda a mantener la combustión y la protección de la caldera en buenas condiciones y que no dependa de la condición operativa; todo esto con el fin de asegurar la continua operación de la caldera

Cuando la señal proveniente de alguno de los controladores supera, el selector conmuta el control del circuito a este segundo controlador, priorizando la protección del motor; cuando la sobrecarga desaparece, devuelve el control de la situación al controlador principal de presión.

El control selectivo se aplica para:

Reducir al mínimo las fallas del sistema.

Protección personal y del equipo

La señal resultante de este control selectivo (**override selector- OVRDSEL**), es enviada a un multiplicador principal, el cual es un algoritmo matemático que se emplea para dar un ajuste manual a la salida del selector, y luego ser transmitida a otro multiplicador (multiplicador secundario).

El multiplicador secundario permite un ajuste manual de la señal proveniente del multiplicador principal y hacer uniforme la distribución de esta señal a cada uno de los variadores de velocidad.

La señal proveniente de cada multiplicador secundario, es transmitida a un variador de velocidad, el cual se encarga de variar la velocidad del motor y por

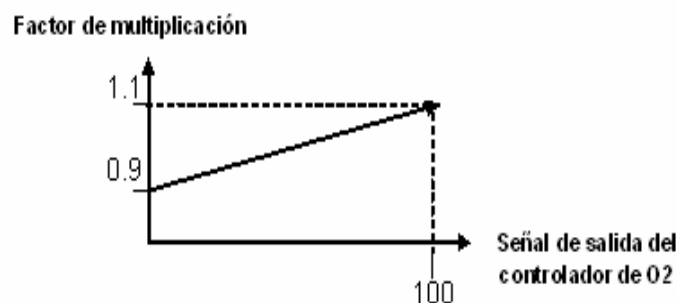
consiguiente variar la velocidad del eje de transmisión del stocker, que se encarga de transmitir el movimiento a la bandeja. En la figura x se muestra el diagrama de control.

La función (F1(x)), se encarga de corregir el exceso o falta de O<sub>2</sub> en la combustión. Esta función realiza una escalización entre 0.9 y 1.1, correspondiente al 0 – 100% de la señal salida del controlador de O<sub>2</sub>. Esta escalización se multiplica por la salida de la función F1(x), con el propósito de hacer la modificación correspondiente y tener una apertura del damper necesario, para ajustar la cantidad de O<sub>2</sub> adecuado en la combustión.

La función (F2(x)), realiza una tabla de relación entre la media de los alimentadores de carbón y el porcentaje de apertura del damper del ventilador de tiro forzado. La media se saca de la salida de los multiplicadores secundarios de cada uno de los alimentadores de carbón.

Con el fin de que haya una mezcla completa (oxígeno-combustible), se necesita de una cantidad de aire precisa (estequiométrica), que reaccione completamente con una determinada proporción de combustible

Tabla 2. Relación entre la señal de salida del controlador y el factor de multiplicación





Un aumento en la medición de presión de vapor, presión de hogar, flujo de vapor o temperatura de vapor, obliga al variador de velocidad a través del **OVERSEL** a disminuir la cantidad velocidad en el motor y por lo tanto al eje de transmisión de los stocker y por ultimo se estaría disminuyendo la cantidad de combustible (carbón) a la caldera.

Esta estrategia permite hacer un balance de consumo de carbón, ya que conociendo cuanto carbón aproximadamente se le suministra a la caldera por cada alimentador en una hora se podría saber cuanto carbón se le ha entregado en un determinado tiempo, relacionado la velocidad del motor con la cantidad de carbón entregado.

Con una mezcla de carbón normal, la caldera 6 consume aproximadamente quince toneladas de carbón en una hora, estando la velocidad de la bandeja al máximo (180rpm); esto seria lo que los cuatro alimentadores le suministrarían a la caldera. Conociendo este valor es fácil saber cuanto carbón le entregaría cada alimentador a la caldera en un minuto.

$$15\text{ton}/4=3.5\text{ton}$$

$$3.5/60\text{min}=0.058\text{ton} - 0.058*1000\text{kg}=58\text{kg}$$

La cantidad de carbón suministrado a la caldera por cada alimentador de carbón es aproximadamente de 58kg de carbón, estando la velocidad del motor al 100%(180rpm). La tabla siguiente muestra la cantidad de carbón suministrado a la caldera por un solo alimentador de carbón en un minuto a diferentes velocidades del motor, pero teniendo el mismo desplazamiento en la bandeja\*. Estos datos serian almacenados en la base de datos del sistema para luego ser consultados por el usuario del sistema.

---

\* Estos cálculos se tendrían que hacer para cada alimentador de carbón.

Tabla 2. Relación de velocidad del motor y cantidad de carbón

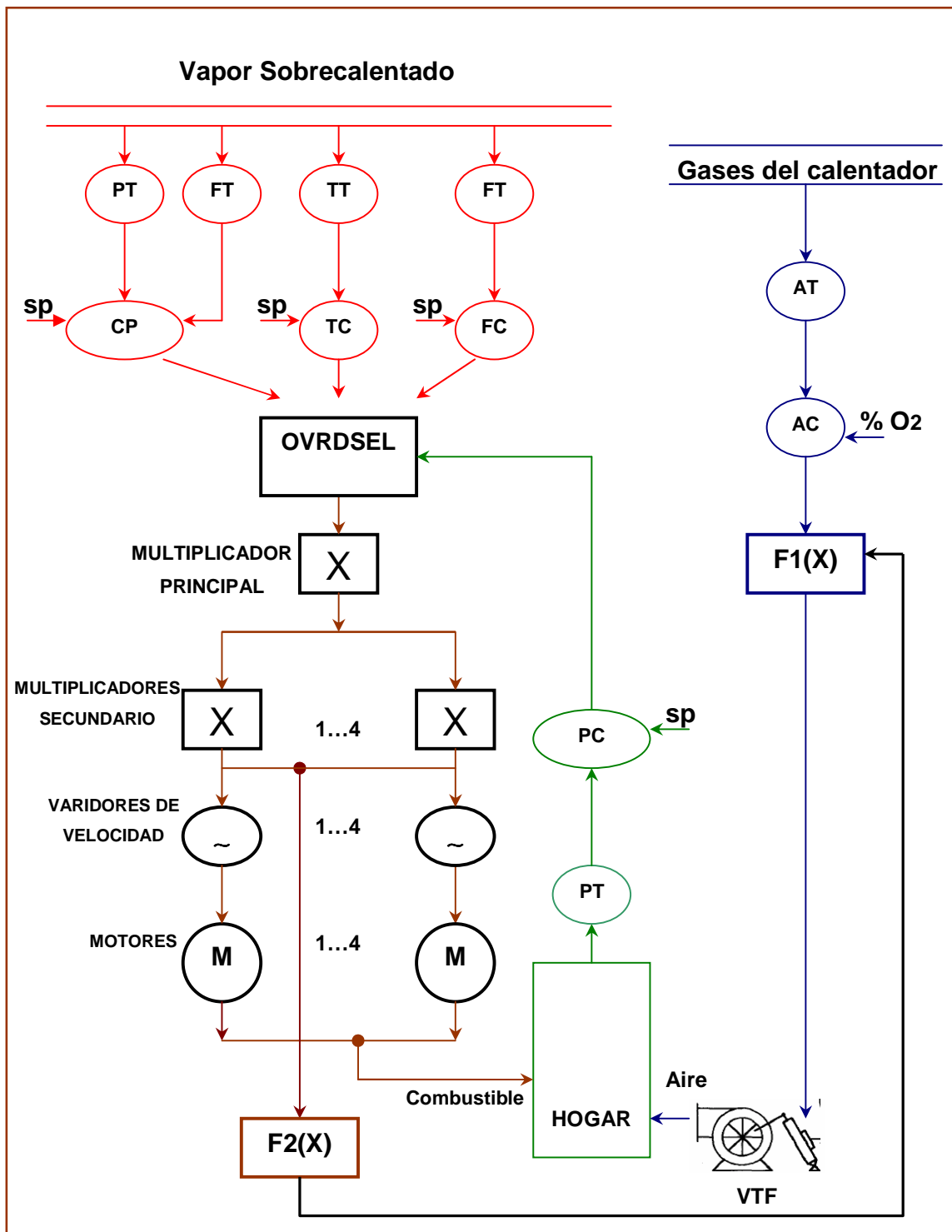
<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>Cantidad aproximada carbón (kg)</b>	<b>Cantidad aprox. de carbón entregado en una hora (kg)</b>
180	58	3500
150	44	2640
90	29	1740
45	15	900
0	0	0

Tabla 3. Parámetros del carbón

	PARAMETROS EN BASE COMO SE RECIBE	
	Minimo	Maximo
% Humedad Total	4.00	12
% Cenizas	10.00	24
% Azufre	0.10	1.5
%Materiales Volatiles	26.00	43
% Carbón Fijo	32.00	57
Poder Calorico BTU/Lbm	9,800.00	12000

Fuente: Ingenio Manuelita S.A.

Figura 29. Diagrama del esquema de control



## 7.6 MODULO MECÁNICO

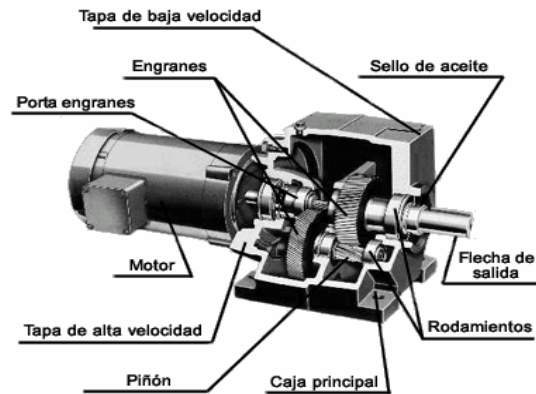
Este modulo básicamente es producto de la modificación que se pretende hacer sobre el sistema de transmisión de los stoker. Estaría compuesto por el motorreductor; y el acople entre el reductor y el eje de transmisión de los alimentadores de carbón.

7.6.1 Sistema de accionamiento. Para accionar el eje de transmisión del alimentador de carbón, se recomienda el uso de un motorreductor, el cual se caracteriza por estar formado por un motor eléctrico AC y un reductor a base de engranaje.

Partes fundamentales de un motor-reductor

- Engranajes: transmiten un movimiento de rotación mediante el contacto sucesivo de la superficie interna de los dientes.
- Rodamientos: deben soportar las mas severas sobrecargas, minimizar fricción y facilitar el arranque.
- Flecha de salida: el eje por el cual se transmite el movimiento a la maquina movida.
- Caja principal: una de sus funciones principales es servir como deposito de aceite. Su diseño elimina la posibilidad de fracturas debidas a esfuerzos exagerados que ocasionalmente pudieran ejercerse sobre el reductor.
- Sello de aceite: evita la fuga de aceite y la entrada de polvo y agua.
- Flecha de entrada: el eje por la cual se trasmite el movimiento proveniente de la maquina motriz.
- Tapa porta engranes, baleros y flechas. Debe ofrecer rigidez y evitar deformaciones, mantener un alineamiento preciso entre todas las partes giratorias y facilitar la inspección y el mantenimiento de la unidad.

Figura 30. Partes de un motorreductor



El motor AC asíncrono, se caracteriza por su robustez, la simplicidad de sus elementos y bajo mantenimiento. Normalmente los motores más comercializados son los de 4 polos, o lo que es lo mismo de 2 pares de polos. Las maquinas de inducción presentan el inconveniente que para regular la velocidad es un poco más complejo que los otras maquinas, pero se soluciona acoplando un convertidor eléctrico de velocidades.

Las partes fundamentales del motor son:

1.43 Retenedor

13.19 Arandela de presión

13.30 Rodamiento AS

31.00 Carcasa - Estator

41.10 Plátillo BS/B3

41.30 Rodamiento BS

51.30 Ventilador

11.00 Plátillo AS/B5

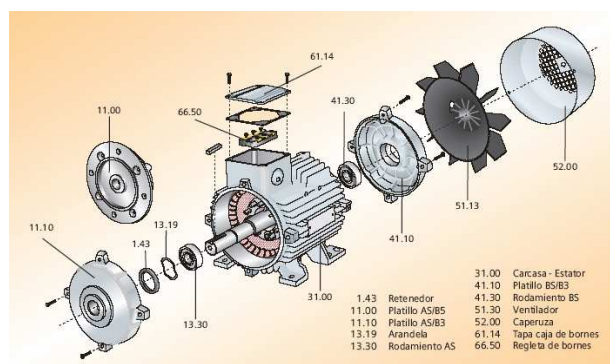
11.10 Plátillo AS/B3

52.00 Caperuza

61.14 Tapa caja de bornes

66.50 Regleta de bornes

Figura 31. Partes fundamentales del motor



Para poder conocer la potencia del motor necesaria para la aplicación, se realizaron unas pruebas en campo, obteniendo como resultado una potencia de **0.5hp**, sin entrar en detalle en los desarrollos intermediarios.

Para la selección del motor se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- Potencia (0.5HP), RPM de entrada del motor (1680 rpm), amperaje (1.5A), frecuencia (60HZ), que puedan ser accionados con variador de velocidad sin pérdida de potencia, protección IP55 (TEFC): aislamiento clase F (180° interno. 90° externo), norma IEC EFF2.

Se dispone del catalogo de la empresa **WESTERN ELECTRIC** para la selección del motor de acuerdo a las características antes mencionadas. Se utilizara esta empresa ya que estos motores son una combinación de características y materiales cuidadosamente seleccionados para proporcionar un motor confiable, eficiente y durable, además están diseñados para ser resistentes en el trabajo y operan muy eficientemente. Los motores **WESTERN ELECTRIC** pueden manejar las rigurosas exigencias de la industria y se ajustan a las necesidades del proyecto.

De acuerdo con el catalogo de la empresa **WESTERN ELECTRIC** y a los parámetros ya fijados, el motor que se aconseja y se acomoda a las necesidades del proyecto, es la referencia **A71L-4**.

Este tipo de motor se acomoda a los requerimientos del proyecto tiene las siguientes características: un motor de 0.5 HP a 1680 RPM, tres fases 220/440V, 60hertz, protección IP55 (TEFC): aislamiento clase F (180° interno. 90° externo), norma IEC EFF2 Altamente eficiente, al ser un EFF2 posee un factor de servicio (SF) igual a 1,1. Es decir, tienen una reserva de potencia del 10%. Además son muy robustos. Pueden funcionar aún en los ambientes más agresivos y cumplir con los más duros requerimientos de seguridad.

Figura 32. Parte externa del motor



7.6.2 Transmisión del reductor de velocidad. Los reductores consisten en pares de engranajes con gran diferencia de diámetros, de esta forma el engrane de menor diámetro debe dar muchas vueltas para que el de diámetro mayor de una vuelta, de esta forma se reduce la velocidad de giro<sup>8</sup>.

Para la transmisión del reductor de velocidad se aconseja el uso de reductores de tornillo sin-fin; estos ofrecen factores de reducción elevados con reducidas dimensiones respecto los reductores de engranajes cónicos helicoidales o reductores de engranajes cilíndricos helicoidales los cuales son de mayor tamaño con factores de reducción inferiores. Se aconseja la utilización de un **reductor de tronillo sin-fin** por su mejor emplazamiento dentro de la máquina y su mejor adaptabilidad de las características de funcionamiento.

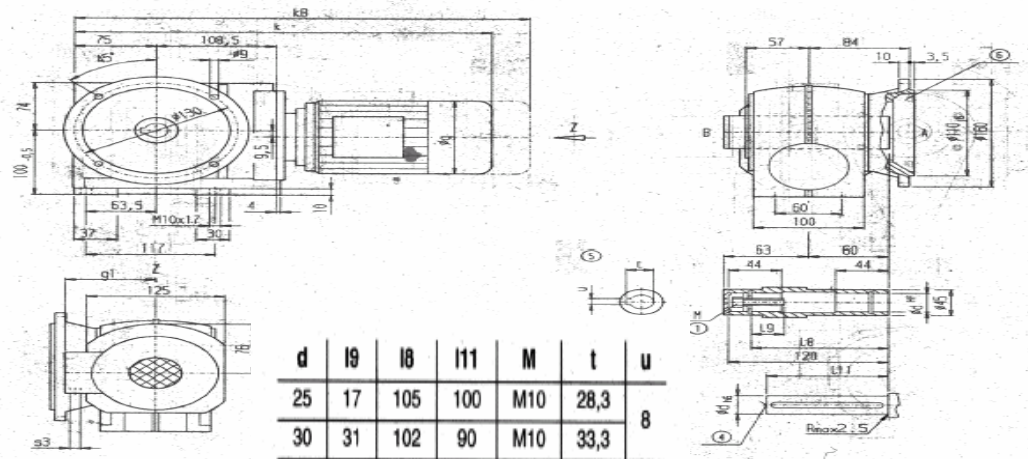
Para poder conocer la relación del reductor necesaria para la aplicación, se realizaron unas pruebas en campo, obteniendo como resultado una relación aproximada de **9.67:1** para un motor de 1680RPM, obteniendo una velocidad de salida de 187RPM; sin entrar en detalle en los desarrollos intermediarios.

---

<sup>8</sup>Cajas de reductores [en línea]. [Santiago de Chile]: Pontificia Universidad Católica de Chile. 1999. [consultado 25 de mayo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/engrana/crema.html>

De acuerdo con el catalogo de la empresa alemana **FLENDER** y a los parámetros ya fijados, el reductor que se aconseja y se acomoda a las necesidades del proyecto, es la referencia CAF-35-K4.

Figura 33. Dimensiones del motor-reductor



La carcasa del reductor es en fundición de hierro gris ya que la temperatura al contacto es mayor a 60°C; además el tipo de reducción como ya se había mencionado es sinfín corona con campana K4 entre motor y reductor: acoplado a caja reductora con relación 9.67:1 (1.695/187rpm) con flange a la salida y eje hueco.

El motorreductor iría acoplado al eje de transmisión y anclado mediante brida a la tapa lateral izquierda del alimentador de carbón, además es necesario hacerle una camisa.

Figura 34. Parte externa del motorreductor





7.6.3 Regulación de velocidad. La regulación de la velocidad se produce mediante un convertidor de frecuencia electrónico, el cual permite graduar convenientemente la velocidad de la máquina.

Utilizando un convertidor de frecuencias se dispone de un control de la velocidad continuo, pudiendo adaptar con mayor exactitud la velocidad de funcionamiento del motor a la velocidad de trabajo de la máquina.

Se aconseja instalar un convertidor de frecuencia de la empresa **ALLEN BRADLEY**; aunque se podría haber empleado un convertidor de frecuencia de otra empresa con propiedades de funcionamiento parecidas a la seleccionada. Los convertidores **ALLEN BRADLEY** ofrecen los requisitos necesarios y suficientes para el funcionamiento con la ventaja de ser de reducidas dimensiones.

El Power Flex40 Incluye características de control sensorless vector y E/S adicionales. Además, incluye:

- Salida analógica de 0-10 V o 4-20 mA (10-bit) para realimentación o como referencia para otros variadores
- Las funciones lógicas, temporizadores y contadores permiten reducir los costos de diseño de hardware al simplificar los esquemas de control
- Dos canales de entrada analógica, incluso la capacidad de PID, mejoran la flexibilidad de aplicación
- Las tarjetas integradas de comunicación tales como DeviceNet™, EtherNet/IP y Profibus pueden mejorar el desempeño de la máquina

Tabla 4. Tipos de variadores.

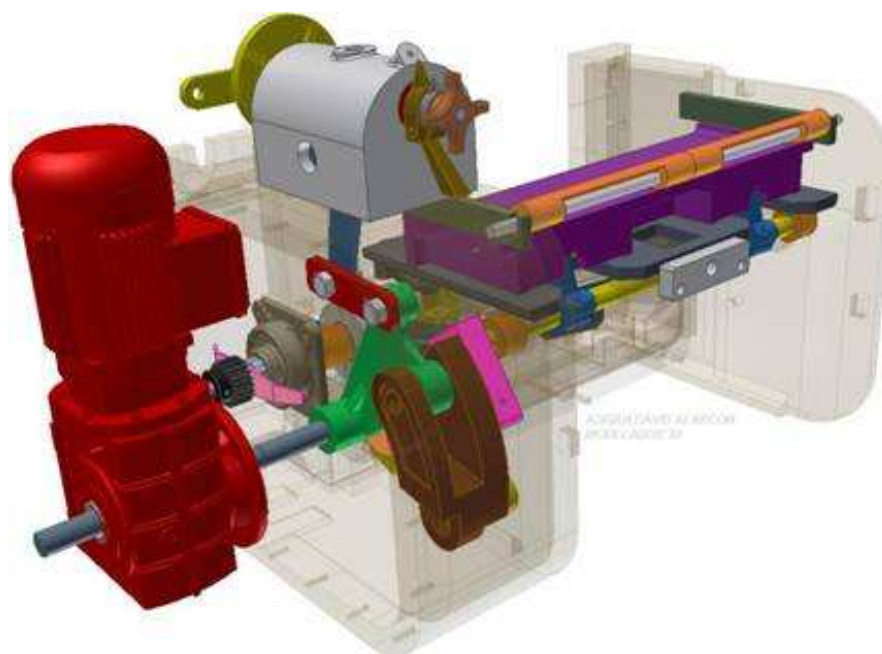
Especificaciones, Fusibles y Disyuntores									
Capacidades Nominales del Variador									
Número de Catálogo	Capacidades Nominales de Salida		Capacidades Nominales de Entrada			Protección de Circuitos Secundarios			Disipación de Alimentación Eléctrica
	kW (HP)	Amps	Gama de Tensión	kVA	Amps	Fusibles	Protectores de Motor 140 M <sup>(2)</sup>	Contactores	IP20 Watt Abiertos
Entrada trifásica de 380 - 480 V CA (±10%), Salida trifásica de 0 - 460 V									
22B-D1P4N104	0.4 (0.5)	1.4	342-528	1.4	1.8	3	140M-C2E-B25	100-C07	35
22B-D2P3N104	0.75 (1.0)	2.3	342-528	2.3	3.2	6	140M-C2E-B40	100-C07	50
22B-D4P0N104	1.5 (2.0)	4.0	342-528	4.0	5.7	10	140M-C2E-B63	100-C09	70
22B-D6P0N104	2.2 (3.0)	6.0	342-528	5.9	7.5	15	140M-C2E-C10	100-C09	100
22B-D010N104	4.0 (5.0)	10.5	342-528	10.3	13.0	20	140M-C2E-C16	100-C23	160
22B-D012N104	5.5 (7.5)	12.0	342-528	11.8	14.2	25	140M-D8E-C20	100-C23	175
22B-D017N104	7.5 (10.0)	17.0	342-528	16.8	18.4	30	140M-D8E-C20	100-C23	210
22B-D024N104	11.0 (15.0)	24.0	342-528	23.4	26.0	50	140M-F8E-C32	100-C43	300

Como se puede apreciar en la tabla 4, el tipo de variador que se acomoda a los requerimientos del proyecto, es el tipo 22BD1P4N104.

Figura 35. Aspecto externo del variador de velocidad



Figura 36. Propuesta de montaje del motorreductor



## 8 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PRUEBA

Cantidad	Descripción	*Valor
1	Reductor Flender Ref. CAF-35-K4 Motor Wester Electric Ref. A71L-4	1'400.000
1	Variador ALLEN BRADLEY POWER FLEX40	1'000.000
1	Montaje	7'000.000
	<b>Total</b>	<b>9'400.000</b>

Fuente SAP

El montaje de este proyecto se haría desde el segundo piso de la caldera 6, donde están ubicados los alimentadores de carbón hasta el cuarto de control. El montaje incluye:

- Tubería conduit galvanizada de ½.
- Cable apantallado (2\*18\*1+1)
- Cable siliconado # 12
- Cable #16 (4 líneas)
- Mano de obra

Este presupuesto es para un solo alimentador de carbón.

---

\* El precio lista no incluye el IVA vigente

## 9 CONCLUSIONES

Debe considerarse que, en el contexto de una economía competitiva, las empresas están obligadas a ser eficientes. Aquellas corporaciones que no tomen las decisiones adecuadas o no se actualicen frente a los cambios que se generan en el entorno, están condenadas a perder rentabilidad y desaparecer. De este modo, la automatización de los procesos de producción constituye una necesidad ineludible, para el ingenio Manuelita S.A.

Sobre la complejidad del proceso a controlar, se estudiaron diferentes estrategias de control que garantizaran un correcto funcionamiento de la caldera, y se acordó la estrategia más adecuada teniendo en cuenta sus características y el uso que se le dará una vez puesta en funcionamiento. La estrategia de control adoptada en este proyecto esta en la capacidad de suministrar suficiente combustible para liberar el calor necesario para convertir el agua en vapor, y el aire necesario para quemar completamente el combustible, y al mismo tiempo de ser manipulado de manera remota y asimismo de permitir que el proceso de combustión opere en condiciones controladas, seguras y eficiente.

Esta estrategia permitió hacer un balance consumo de carbón, ya que conociendo cuanto carbón aproximadamente se le suministra a la caldera por cada alimentador en un minuto se podría saber cuanto carbón se le ha entregado en un determinado tiempo, relacionado la velocidad del motor con la cantidad de carbón entregado.

Con la propuesta de diseño dada, se elimina la dependencia que existía entre el operario del cuarto de control y el parrilero, ya que no se hace necesario consultar

el porcentaje de regulación de los stocker, porque el operario puede confiar en el dato visualizado en la pantalla

Se desarrolló una interfaz gráfica para el control y supervisión de la adición de combustible utilizando las herramientas del HMIWeb Display Builder de EXPERION, facilitándole al operario utilizar tanto Internet como intranet sin dejar de tener acceso a las funciones de operador normales, además de permitir al usuario la navegación fácil, intuitiva y el acceso rápido a los datos de proceso dominantes, esta herramienta proporciona el acceso a los datos de Experion y lo exhibe vía Internet Explorer.

Este proyecto incorpora las buenas prácticas y/o experiencias de personas con conocimientos en control y automatización de procesos industriales.

Al final del proyecto el nivel de conocimiento adquirido era mucho mayor, al igual que desarrolle un poco más la lógica y sentido común en aplicaciones reales.

El desarrollo de este proyecto fue de gran satisfacción ya que se pudo aplicar los conocimientos obtenidos a la largo de mi carrera.

Este proyecto me brindo la posibilidad de poder interactuar con casi todo el personal del ingenio desde jefes de área hasta aseadores, siendo personas con un alto grado de conocimiento en su respectiva área pero ante todo con una calidad humana sorprendente, facilitándome la adaptación al medio laboral y la ejecución del proyecto; por esto y mucho mas se le agradece al ingenio **MANUELITA S.A.** por la oportunidad de vivir el desarrollo de un proyecto de gran importancia y trascendencia, que enriquece la perspectiva del ambiente laboral en nuestra región.

## BIBLIOGRAFIA

DISTRAL S.A. Datos de diseño Caldera distral Acuotubular 150000 lb/h. Bogota, 1983. 567 p.

Honeywell Automation and Control Solutions: Industrial Solution. [s.f.]. [Consultado 24 de mayo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.acs.honeywell.com/>

Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira. 132 p.

MIRANDA MIRANDA, Juan Jose. Gestion de Proyectos. 4 ed. Bogota: MM Editores, 2000. 438 p.

Motores Western electric [en línea]. Londres: Westernelectric. 2005. [Consultado 07 de Julio de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.westernelectric-motors.com/>

Reductores Flender [en linea]. Bogota: A.G.P. Representaciones Ltda, 2003. [consultado 10 de julio de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.agp.com.co/reductores/index.html>

SHIELD, Carl. Calderas. 10 ed. Mexico DF: McGraw-Hill. 1982. 716 p.

SHINSKEY, F. G. Process control systems: application, design, and tuning. 4 ed. New York, 4 ed. McGraw Hill, 1996. 368 p.

Variadores de velocidad [en línea]. Milwaukee: Allen Bradley. 2006. [Consultado 23 de febrero de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.ab.com/drives/powerflex/40/index.html>

## Anexo 1. Paper

### DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE REGULACIÓN PARA EL PROCESO DE ALIMENTACIÓN DE CARBÓN DE UNA CALDERA INDUSTRIAL

**Ing. Carlos Arturo Escamilla**

*Administrador de sistema EXPERION PKS.  
cescamilla@manuelita.com*

**Ing. Humberto Gironza Lozano**

*U. A. O.  
hgironza@manuelita.com*

**Iuis Mario Echeverri Diaz**

*Estudiante de Ingeniería Electronica U. A. O.  
luismarioed@yahoo.es*

En los últimos años, el ingenio MANUELITA S.A., viene automatizando sus procesos operativos. Este pretende aportar una solución concreta al control de los alimentadores de carbón, eliminando la dependencia entre el operario del cuarto de control y el parrillero, además de optimizar el proceso de combustión obteniendo una mezcla apropiada de aire y combustible en proporciones exactas para que se consuma plenamente. Para ello se aplicaran varias técnicas de control para regular la adición de combustible, manteniendo en condiciones seguras la operación y/o funcionamiento de la caldera.

Keywords: calderas, alimentador de carbón, bloques funcionales, supervisión.

## 0. INTRODUCCIÓN

La explotación y el uso de la energía se han convertido en los últimos años en un tema prioritario en el mundo, debido al agotamiento de los recursos naturales no renovables, los impactos ambientales y los altos costos generados a su consumo. La situación actual de alto nivel de competitividad por precio y calidad del producto a la que están sometidas las empresas, las obliga a estudiar posibilidades de ahorro dentro de sus costos de producción en este caso se busca reducir los

costos generados por el uso de carbón en los procesos de generación de vapor.

## 1. DISEÑO DETALLADO

### 1.1 Modulo de control

Sobre la complejidad del proceso a controlar, se estudiaron diferentes estrategias de control que garantizaran un correcto funcionamiento de la caldera, y se acordó la estrategia más adecuada teniendo en cuenta sus características y el uso que se le dará una vez puesta en funcionamiento es la que



se muestra en el siguiente punto. La estrategia de control esta compuesto por diferentes lazos de control tales como control por adelanto, control selectivo, control PI entre otros.

### 1.2 Estrategia de control

Esta estrategia esta en la capacidad de que cuando alguna de sus variables (presión de hogar, presión de vapor, flujo de vapor y/o temperatura), estén aumentado su valor, obliga al variador de velocidad a través del **OVERSEL** a disminuir la cantidad velocidad en el motor y por lo tanto al eje de transmisión de los stocker y por ultimo se estaría disminuyendo la cantidad de combustible (carbón) a la caldera.

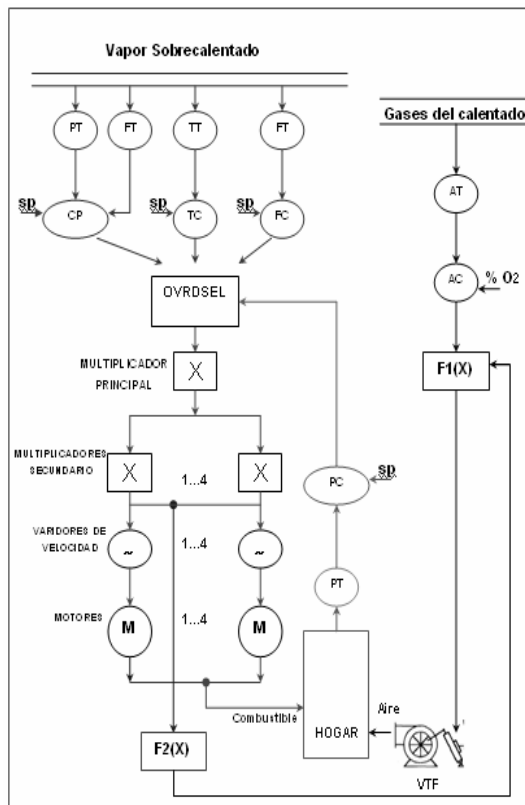


Figura 1. Estrategia de control

### 1.3 Sistema supervisorio

Esta solución avanzada del interfaz combina el acceso, la robustez, y el funcionamiento constantes y seguros con capacidades

avanzadas de los gráficos de la tela. La tecnología de HMIWeb ofrece la ventaja de la entrega completamente integrada de los datos usando tecnologías estándares del Internet tales como HTML y XML.

Desde esta pantalla se tiene acceso a toda la funcionalidad del sistema

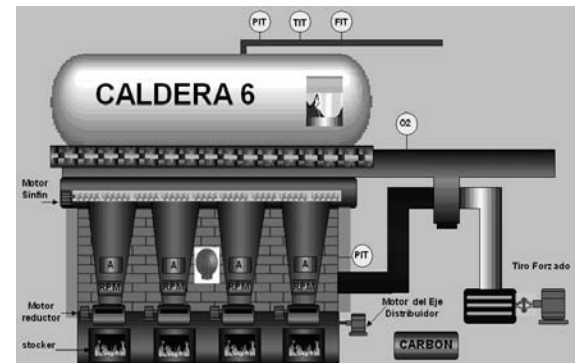


Figura 2. Interfaz grafica

### 1.4 Modulo mecánico

Este modulo básicamente es producto de la modificación que se pretende hacer sobre el sistema de transmisión de los stoker. Estaría compuesto por el motorreductor, el cual tendría una transmisión sin fin corona ya que este tipo de transmisión ofrece factores de reducción elevados con reducidas dimensiones respecto a otros; el motorreductor iría acoplado al eje de transmisión y anclado mediante brida a la tapa lateral izquierda del alimentador de carbón.

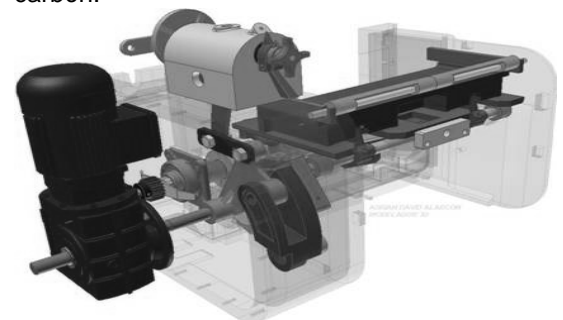


Figura 3. Propuesta del montaje

### 1.5 Regulación de velocidad

La regulación de la velocidad se produce mediante un convertidor de frecuencia

electrónico, el cual permite graduar convenientemente la velocidad de la máquina.

Utilizando un convertidor de frecuencias se dispone de un control de la velocidad continuo, pudiendo adaptar con mayor exactitud la velocidad de funcionamiento del motor a la velocidad de trabajo de la máquina

## 2. CONCLUSIONES

Debe considerarse que, en el contexto de una economía competitiva, las empresas están obligadas a ser eficientes. Aquellas corporaciones que no tomen las decisiones adecuadas o no se actualicen frente a los cambios que se generan en el entorno, están condenadas a perder rentabilidad y desaparecer. De este modo, la automatización de los procesos de producción constituye una necesidad ineludible, para el ingenio Manuelita S.A.

Con la propuesta de diseño dada, se elimina la dependencia que existía entre el operario del cuarto de control y el parrilero, ya que no

se hace necesario consultar el porcentaje de regulación de los stocker, porque el operario puede confiar en el dato visualizado en la pantalla

El desarrollo de este proyecto fue de gran satisfacción ya que se pudo aplicar los conocimientos obtenidos a la largo de mi carrera.

## REFERENCIAS

DISTRAL S.A. Datos de diseño Caldera distral Acuotubular 150000 lb/h. Bogota, 1983. 567 p.

Honeywell Automation and Control Solutions: Industrial Solution. [s.f.]. [Consultado 24 de mayo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.acs.honeywell.com/>

Manuelita S.A. Alimentador de carbón. Palmira. 132 p.

SHINSKEY, F. G. Process control systems: application, design, and tuning. 4 ed. New York, 4 ed. McGraw Hill, 1996. 368 p.